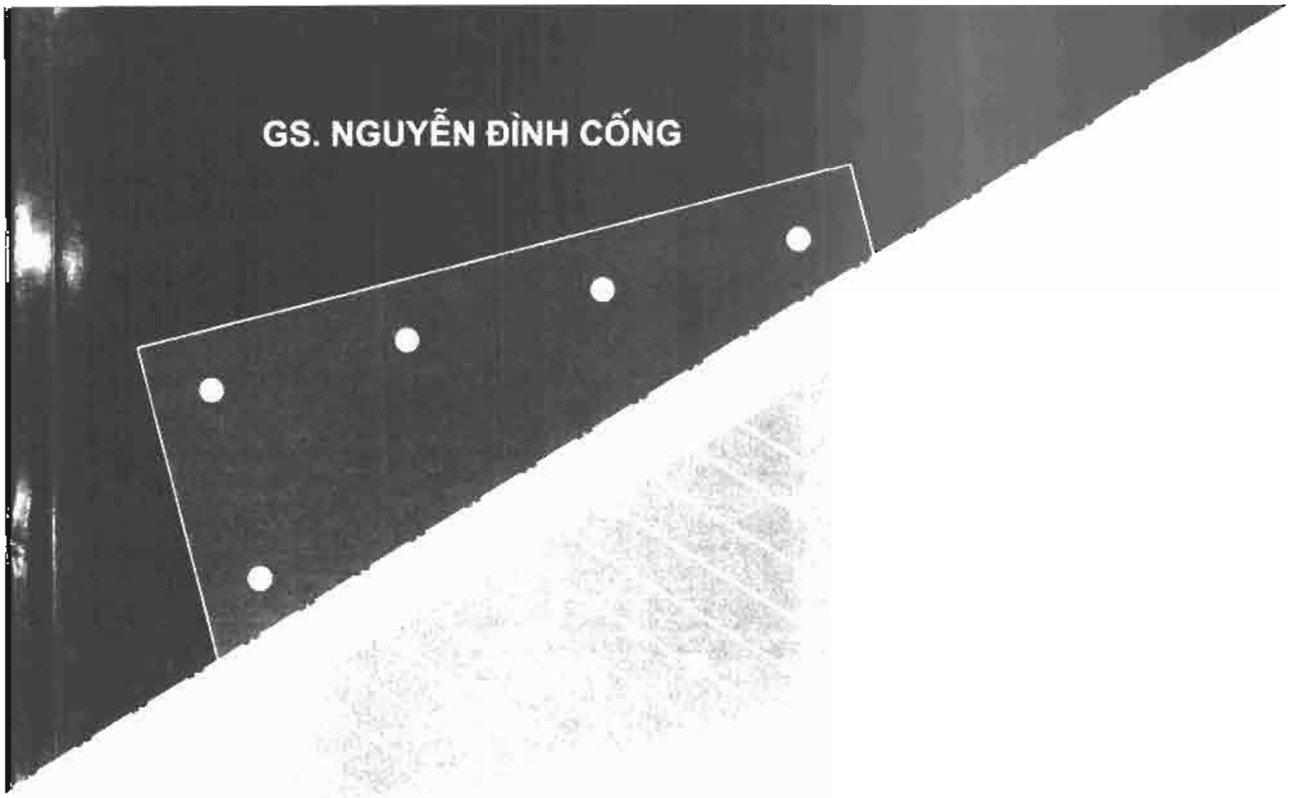
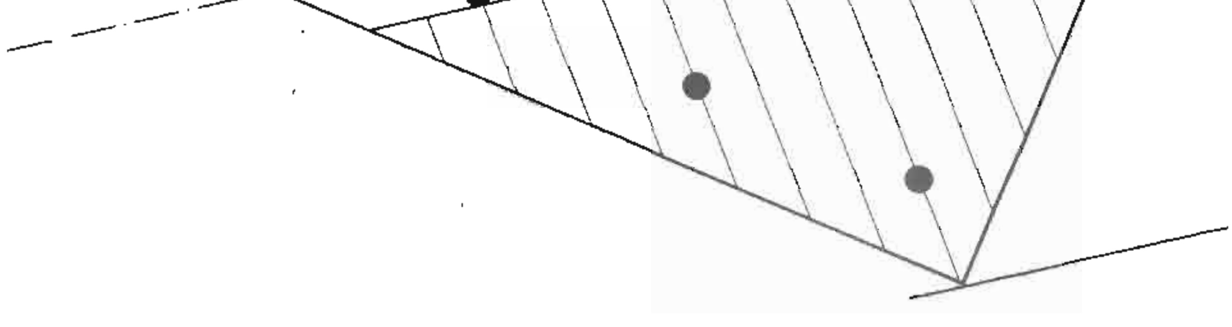
GS. NGUYỄN ĐÌNH CỐNG



TÍNH TOÁN TIẾT DIỆN CỘT BÊ TÔNG CỐT THÉP



GS. NGUYỄN ĐÌNH CỐNG

TÍNH TOÁN TIẾT DIỆN CỘT BÊ TÔNG CỐT THÉP

SÁCH XUẤT BẢN

KỶ NIỆM 40 NĂM THÀNH LẬP

TRƯỜNG ĐẠI HỌC XÂY DỰNG

1966 - 2006

NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG
HÀ NỘI - 2006

LỜI NÓI ĐẦU

Thiết kế kết cấu bêtông cốt thép gồm nhiều công đoạn trong đó tính toán tiết diện cột là một phần tương đối quan trọng và chứa dựng một số vấn đề phức tạp như cột chịu nén lệch tâm xiên, cột có tiết diện tròn hoặc chữ T... Những vấn đề đó tuy có được đề cập tới trong Tiêu chuẩn thiết kế cũng như trong một số giáo trình và sách tham khảo nhưng thường mới được trình bày ở dạng nguyên lý chung mà ít được chi tiết hóa, cụ thể hóa để có thể vận dụng trực tiếp. Ngay trường hợp đơn giản là tiết diện chữ nhật chịu nén lệch tâm phẳng, tuy đã được giới thiệu ở nhiều tài liệu, đã được cụ thể hóa bằng các công thức tính toán nhưng cũng còn chứa dựng một vài vấn đề cần làm sáng tỏ hơn.

Trong khi thiết kế các công trình, nhiều kỹ sư và sinh viên thường gặp các vấn đề vừa nêu và yêu cầu tác giả giải đáp. Điều đó thôi thúc tác giả biên soạn tài liệu này nhằm giới thiệu một số vấn đề về tính toán, hy vọng có thể cung cấp được các thông tin và phương pháp cần thiết cho các cán bộ nghiên cứu và thiết kế.

Đây là tài liệu tham khảo mà một số nội dung vượt ra ngoài các giáo trình thông thường ở bậc đại học. Những vấn đề tính toán chủ yếu theo sát tiêu chuẩn thiết kế hiện hành của Việt Nam TCXDVN 356 : 2005. Tuy vậy có một số vấn đề được mở rộng, giới thiệu theo nhiều quan điểm khác nhau nhằm giúp độc giả hiểu sâu và rộng hơn về lý thuyết bêtông cốt thép.

Tiêu chuẩn TCXDVN 356 - 2005 được ban hành và có hiệu lực từ tháng 11 năm 2005, dùng để thay thế tiêu chuẩn TCVN 5574 - 1991. Trong quá trình biên soạn tài liệu này (2004 - 2005) tác giả đã dựa vào tiêu chuẩn TCVN 5574. Khi TCXDVN 356 được công bố thì tài liệu này đã chế bản xong và chuẩn bị đem in. Tác giả đã kịp thời sửa chữa bản thảo theo nội dung và ký hiệu của TCXDVN 356. Chắc chắn rằng những vấn đề quan trọng và cơ bản đã được trình bày theo TCXDVN 356. Tuy vậy có một vài ví dụ dùng số liệu cũ của TCVN 5574 tác giả vẫn để nguyên, vì thấy rằng nó không gây ra nhầm lẫn về nhận thức, không ảnh hưởng đến mức độ chính xác của tài liệu.

Năm 2006 Trường Đại học Xây dựng kỷ niệm 40 năm thành lập và 50 năm đào tạo. Tác giả viết tài liệu này cũng là để góp phần vào lễ kỷ niệm đó.

Vì thời gian có hạn nên tác giả chỉ mới đề cập đến việc tính toán một số tiết diện cột mà chưa đưa thêm các vấn đề khác như xác định nội lực, cấu tạo chi tiết. Hy vọng có thể bổ sung và hoàn chỉnh vào dịp khác.

Tác giả xin hoan nghênh và tỏ lòng biết ơn các bạn đọc chỉ ra, góp ý kiến cho những sai sót của tài liệu để tác giả có thể hoàn thiện hơn.

Tác giả

Chương 1

ĐẠI CƯƠNG VỀ KHUNG VÀ CỘT BÊTÔNG CỐT THÉP

1.1. CÁC BƯỚC THIẾT KẾ KẾT CẤU KHUNG

Thiết kế kết cấu bêtông cốt thép nói chung và kết cấu khung nói riêng thường theo thứ tự các bước sau:

1. Giới thiệu, mô tả kết cấu.
2. Lựa chọn phương án, lập sơ đồ kết cấu.
3. Chọn kích thước sơ bộ các tiết diện, chọn vật liệu.
4. Tính toán các tải trọng, dự kiến các tác động
5. Xác định nội lực, tổ hợp nội lực.
6. Tính toán tiết diện, kiểm tra các điều kiện sử dụng.
7. Thiết kế chi tiết, chọn cấu tạo, thể hiện.

Các bước trên được quy về các giai đoạn thiết kế gồm: Thiết kế cơ sở (sơ bộ), thiết kế kỹ thuật và thiết kế bản vẽ thi công.

Với các công trình lớn thiết kế theo ba giai đoạn trong đó thiết kế cơ sở gồm nội dung các bước 1, 2, 3; thiết kế kỹ thuật gồm nội dung các bước 4, 5, 6 và thiết kế bản vẽ thi công gồm nội dung bước 7.

Với công trình vừa và nhỏ thiết kế theo hai giai đoạn hoặc một giai đoạn (thiết kế trực tiếp bản vẽ thi công) tuy vậy vẫn thực hiện cả 7 bước trong đó có một số bước có thể làm gần đúng, đơn giản hóa.

Hồ sơ thiết kế gồm có bản thuyết minh và các bản vẽ. Nội dung của các bước có thể được trình bày trong bản thuyết minh hoặc trong các bản vẽ.

Ở bước 1 cần trình bày tên gọi của kết cấu, vị trí (trên mặt bằng kết cấu của công trình), nhiệm vụ, đặc điểm của kết cấu.

Bước 2 là bước khá quan trọng trong đó việc đề xuất các phương án, phân tích và so sánh để chọn được phương án hợp lý có ý nghĩa lớn đến nhiều mặt. Một phương án hợp lý của kết cấu là đảm bảo được yêu cầu của kiến trúc (yêu cầu về sử dụng), bảo đảm độ bền vững, sử dụng tiết kiệm vật liệu và thuận tiện cho thi công.

Việc đề xuất các phương án có thể theo hai cách:

a) Dựa trên nhiệm vụ, đặc điểm của kết cấu mà đề ra các phương án độc lập nhau (do một số người hoặc do một người).

b) Trước tiên đưa ra một phương án, phân tích ưu, nhược điểm của phương án đó, trên cơ sở tìm cách khắc phục nhược điểm mà đề xuất phương án khác.

Việc lập sơ đồ kết cấu một cách đúng đắn là rất cần thiết. Đối với cả ngôi nhà thì đó là việc bố trí kết cấu tổng thể và vẽ mặt bằng kết cấu. Đối với kết cấu khung thì đó là xác định hình dạng, liên kết, các kích thước cơ bản. Khi lập sơ đồ kết cấu trước hết cần quan tâm tới ổn định tổng thể của chúng, sau đó mới xem xét đến sự làm việc của từng bộ phận. Trong việc lập sơ đồ khung thì vấn đề khung phẳng hoặc khung không gian là quan trọng, vấn đề này được đề cập ở mục 1.2.

Một số vấn đề về tổ hợp nội lực và chọn kích thước tiết diện được trình bày ở mục 1.3 và 1.4.

Nội dung chính của tài liệu này bao gồm việc tính toán tiết diện theo hai dạng bài toán: tính toán cốt thép hoặc kiểm tra.

Tính toán cốt thép là khi biết nội lực và kích thước tiết diện cần xác định lượng cốt thép cần thiết, đủ khả năng chịu lực.

Tính toán kiểm tra là khi đã biết tiết diện và cốt thép cần kiểm tra xem tiết diện có đủ khả năng chịu được nội lực cho trước hay không.

Việc chọn kích thước ở bước 3 là sơ bộ, có thể là hợp lý hoặc chưa. Để đánh giá kích thước tiết diện đã chọn là hợp lý hay không cần phải căn cứ vào kết quả tính toán cốt thép hoặc kết quả kiểm tra. Nếu kích thước đã chọn là quá bất hợp lý (quá bé hoặc quá lớn) thì cần phải chọn lại và tính toán lại.

1.2. SƠ ĐỒ KẾT CẤU KHUNG

Khung gồm có các cột, các dầm liên kết với nhau và liên kết với móng. Trong sơ đồ khung các cột và dầm được thay bằng đường trục của nó.

Về hình học và sự làm việc, phân biệt khung phẳng và khung không gian.

Khung gọi là phẳng khi trục các bộ phận của nó cùng nằm trong một mặt phẳng và các tải trọng tác dụng trong mặt phẳng đó. Mặt phẳng đó được gọi là mặt phẳng khung hoặc mặt phẳng uốn.

Khung là không gian khi trục các bộ phận không cùng nằm trong mặt phẳng hoặc tuy cùng nằm trong một mặt phẳng nhưng có chịu tải trọng tác dụng ngoài mặt phẳng khung.

Trong kết cấu nhà, khung thường được cấu tạo thành hệ không gian (khối khung). Hệ khung không gian có thể được xem là gồm các khung phẳng liên kết với nhau bằng các dầm ngoài mặt phẳng khung.

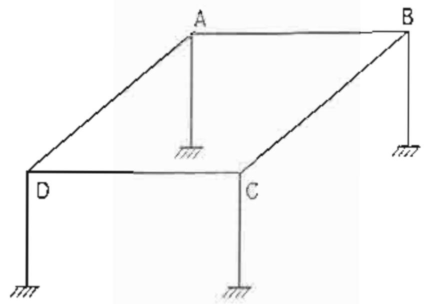
Tùy theo phương án kết cấu chịu lực chính của nhà mà hệ khung có thể thuộc về nhà khung hoặc nhà kết hợp.

Với nhà khung, hệ khung chịu toàn bộ tải trọng đứng và tải trọng ngang.

Với nhà kết hợp (với lõi cứng, vách cứng) khung chịu phần tải trọng đứng trực tiếp truyền vào nó và chịu phần tải trọng ngang được phân phối cho nó.

Tuy hệ khung là không gian nhưng về sự làm việc và tính toán có thể theo sơ đồ không gian hoặc theo sơ đồ phẳng tùy thuộc vào tải trọng tác dụng và mức độ gần đúng có thể chấp nhận được.

Để phân biệt trường hợp làm việc của khung là phẳng hay không gian, xét trường hợp hệ khung đơn giản gồm 4 cột A, B, C, D và 4 dầm liên kết các đầu cột (hình 1.1). Khảo sát các trường hợp khung chịu tải trọng đứng và ngang.

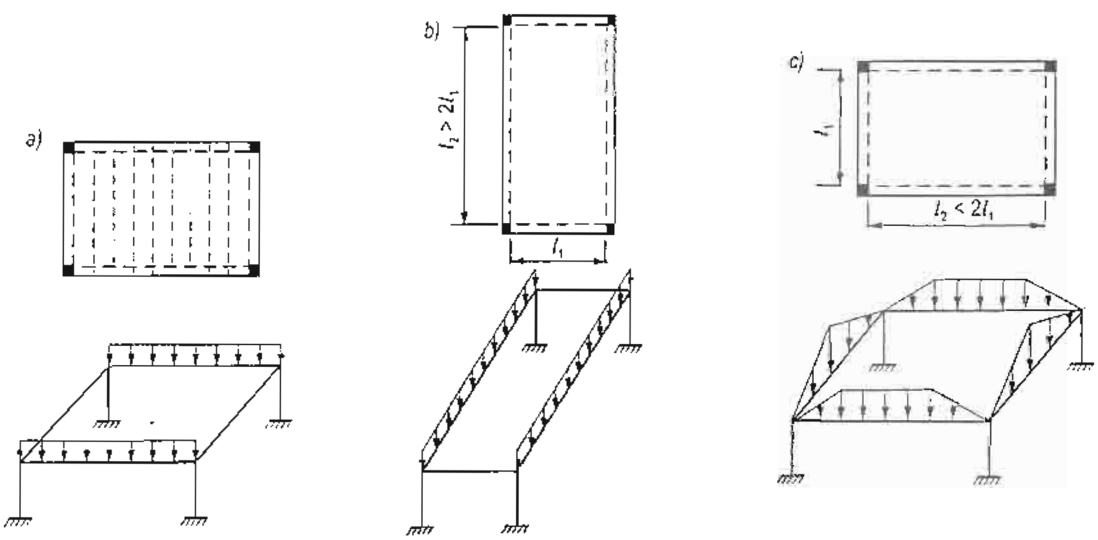


Hình 1.1. *Hệ khung đơn giản*

a) Khung chịu tải trọng đứng

Tải trọng trên sàn truyền vào khung tùy thuộc vào kết cấu sàn theo các trường hợp sau:

Trường hợp 1. Sàn lắp ghép dùng panen đặt theo một phương (hình 1.2a), tải trọng từ panen chỉ truyền lên hai khung phẳng song song, hai khung này làm việc theo khung phẳng, các dầm vuông góc với các khung này chỉ đóng vai trò liên kết, không chịu lực.



Hình 1.2. *Các trường hợp sàn truyền tải trọng đứng vào khung.*

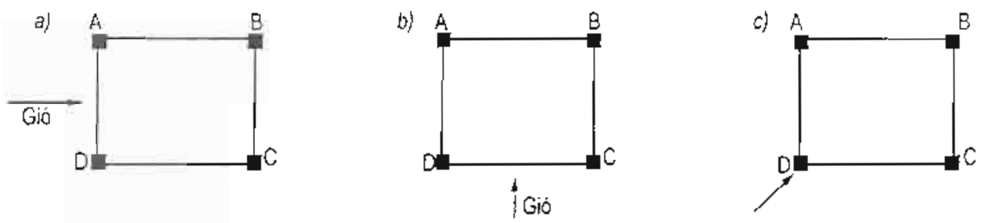
Trường hợp 2. Khi bản sàn là toàn khối kê lên 4 dầm mà tỷ số giữa các cạnh bản $\frac{l_2}{l_1} > 2$, xem gần đúng bản chịu uốn một phương, tải trọng từ bản truyền lên hai khung đối diện, mỗi khung làm việc theo khung phẳng (hình 1.2b).

Trường hợp 3. Bản kê lên 4 dầm mà tỷ số cạnh bản $\frac{l_2}{l_1} < 2$, bản chịu uốn theo hai phương, truyền tải trọng lên cả 4 dầm, hệ khung làm việc không gian (hình 1.2c).

Trường hợp 4. Khi dùng thêm các dầm phụ (dầm sàn) để đỡ bản sàn, dầm phụ kê lên dầm khung. Tùy theo sơ đồ bố trí dầm phụ mà xét khung làm việc phẳng hoặc không gian.

b) Khung chịu tải trọng ngang (gió)

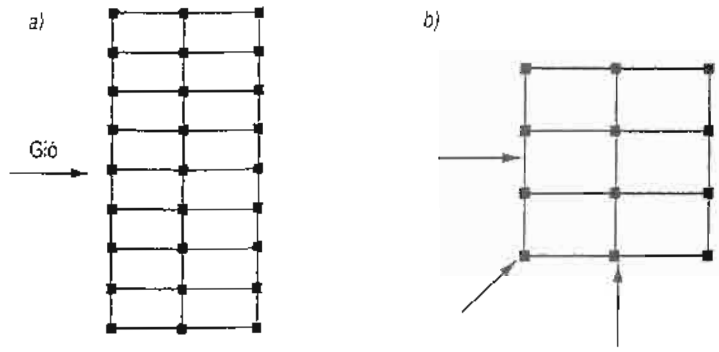
Tùy theo phương của tải trọng. Khi xét tải trọng gió theo phương ngang (hình 1.3a) thì các khung AB và DC làm việc theo khung phẳng. Khi xét gió theo phương dọc (hình 1.3b) thì hai khung AD và BC làm việc theo khung phẳng, còn khi xét gió theo phương xiên thì hệ khung làm việc không gian. Chú ý rằng khi xét tác dụng của gió người ta xem sàn là cứng vô cùng trong mặt phẳng của nó nên sàn làm được nhiệm vụ truyền tải trọng gió vào các khung.



***Hình 1.3.** Các trường hợp hệ khung chịu tải trọng ngang*

Với hệ khung của toàn nhà cũng tiến hành phân tích như trên để xem xét là khung làm việc theo phẳng hoặc theo không gian. Từ chỗ phân tích sự làm việc của sàn để quyết định cách truyền tải trọng đứng. Khi mà có thể xem toàn bộ tải trọng đứng trên sàn chỉ truyền lên các khung ngang (hoặc khung dọc) thì các khung ấy được xem là làm việc theo khung phẳng dưới tác dụng của tải trọng đứng. Ngược lại thì phải truyền tải trọng đứng lên cả các khung dọc và ngang và có khung không gian.

Với tải trọng ngang, thường người ta dựa vào mặt bằng kết cấu nhà để xét trường hợp bất lợi của tải trọng. Khi mặt bằng nhà hẹp mà dài, độ cứng tổng thể của nhà theo phương ngang là khá bé so với phương dọc. Lúc này tác dụng của gió theo phương ngang sẽ bất lợi hơn do đó chỉ xét gió theo phương ngang (hình 1.4a) và mỗi khung ngang được tính theo khung phẳng, chịu tác dụng của phần tải trọng gió phân phối cho nó.



Hình 1.4. Các trường hợp bất lợi của gió đối với kết cấu nhà

Khi mặt bằng kết cấu nhà có dạng gần vuông, độ cứng tổng thể của nhà theo hai phương gần bằng nhau thì phải xét tác dụng của gió theo ba trường hợp: ngang, dọc và xiên (hình 1.4b). Với gió dọc và ngang nhà các khung làm việc phẳng còn với gió xiên, khung làm việc không gian.

Tính toán nội lực khung phẳng là bài toán kết cấu thông thường, có thể giải bằng nhiều phương pháp khác nhau. Hiện nay các bài toán khung phẳng chủ yếu được giải nhờ việc sử dụng các phần mềm tính toán trên máy tính.

Tính toán nội lực khung không gian là khá phức tạp và thường chỉ có thể giải nhờ các chương trình khá mạnh. Có thể giải gần đúng bài toán khung không gian bằng cách đưa về bài toán phẳng theo cách phân chia hệ khung thành các khung dọc và khung ngang, trên mỗi khung xếp đặt các tĩnh tải và hoạt tải tác dụng lên khung đó. Giải toàn bộ các khung dọc và khung ngang theo trường hợp khung phẳng. Nội lực trong dầm của khung nào là của dầm đó còn nội lực trong cột là bằng tổng nội lực trong cột ấy của hai khung giao nhau.

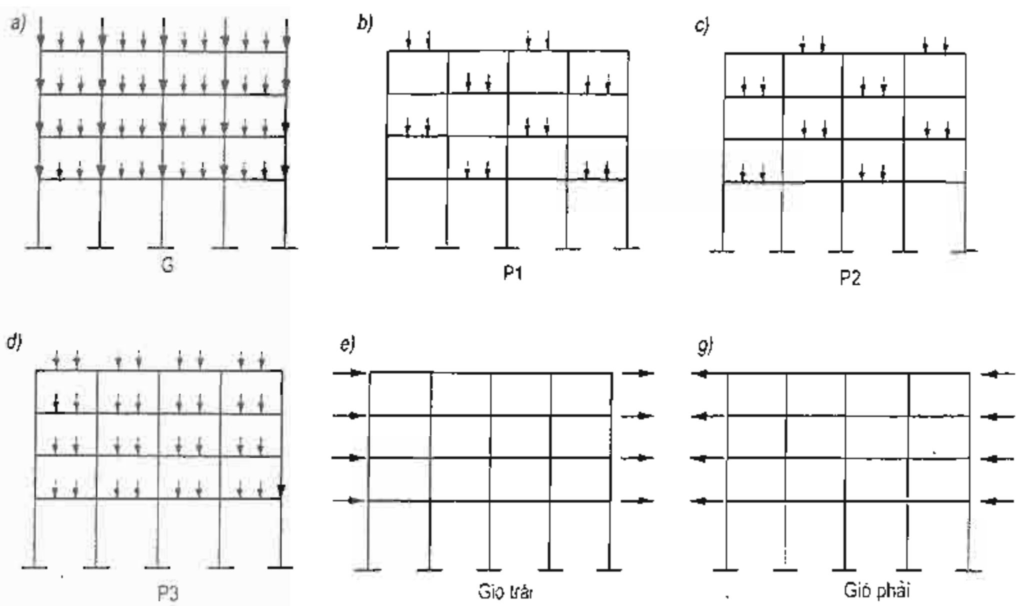
1.3. TỔ HỢP NỘI LỰC KHUNG

1.3.1. Đại cương về tổ hợp nội lực

Khi tính toán nội lực khung cần tính riêng nội lực do tải trọng thường xuyên (tĩnh tải) và nội lực do các trường hợp khác nhau của tải trọng tạm thời (hoạt tải). Cuối cùng cần tổ hợp để tìm ra các giá trị nội lực bất lợi.

Với các khung phẳng thuộc kết cấu nhà dân dụng, trong tổ hợp cơ bản cần xét 6 trường hợp tải trọng sau:

1. Tải trọng thường xuyên (tĩnh tải) (hình 1.5a).
2. Tải trọng tạm thời cách tầng cách nhịp trường hợp 1 (hình 1.5b).
3. Tải trọng tạm thời cách tầng cách nhịp trường hợp 2 (hình 15.c).
4. Tải trọng tạm thời trên toàn bộ dầm (hình 1.5d).
5. Tải trọng gió từ trái sang (hình 1.5e).
6. Tải trọng gió từ phải sang (hình 1.5g).



Hình 1.5. Các trường hợp tải trọng tĩnh khung phẳng.

Với kết cấu khung nhà công nghiệp, trong tổ hợp cơ bản còn phải xét thêm tải trọng do cầu trục (gồm tác dụng thẳng đứng và tác dụng ngang) tác dụng ở một phía hay hai phía của cột đang xét.

Tính toán khung với tổ hợp đặc biệt còn cần xét thêm nội lực do các tải trọng đặc biệt (động đất, cháy nổ...).

Tổ hợp nội lực là một phép cộng có lựa chọn nhằm tìm ra những giá trị nội lực bất lợi để tính toán cốt thép hoặc để kiểm tra khả năng chịu lực. Việc tổ hợp nội lực (hoặc tổ hợp tải trọng) được tiến hành theo các tiêu chuẩn thiết kế. Tiêu chuẩn của các nước quy định cách tổ hợp có khác nhau.

Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 2737 -1995 về Tải trọng và tác động quy định hai tổ hợp cơ bản. Tổ hợp cơ bản 1 gồm nội lực do tĩnh tải và nội lực do một trường hợp của hoạt tải (có lựa chọn). Tổ hợp cơ bản hai gồm nội lực do tĩnh tải và nội lực do ít nhất hai hoạt tải (có lựa chọn trường hợp bất lợi) trong đó nội lực của hoạt tải được nhân với hệ số tổ hợp 0,9. Khi trong tổ hợp có xét đến tải trọng cầu trục thì còn cần chú ý hệ số tổ hợp khi xét sự hoạt động đồng thời của một, hai hay bốn cầu trục. Trong mỗi tổ hợp, tùy theo trạng thái giới hạn được dùng để tính toán mà còn dùng hệ số độ tin cậy (hệ số vượt tải) của tải trọng. (Tải trọng tính toán bằng tải trọng tiêu chuẩn nhân với hệ số độ tin cậy).

Tiêu chuẩn thiết kế của Anh, Pháp, Mỹ không đưa riêng hệ số độ tin cậy mà ghép chung vào hệ số tổ hợp. Các nội lực được xác định theo tải trọng tiêu chuẩn, ký hiệu như sau:

G - nội lực do tải trọng thường xuyên, trong đó một vài tiêu chuẩn thiết kế còn phân biệt G_{max} là trường hợp bất lợi (gây ra tác dụng cùng dấu với nội lực do hoạt tải) và G_{min} là trường hợp có lợi (gây ra tác dụng ngược dấu với nội lực do hoạt tải).

P_i (i = 1, 2...n) - nội lực do các hoạt tải.

Nội lực tổ hợp ký hiệu là S được tính với các hệ số tổ hợp khác nhau.

Khi chỉ xét tác dụng của một hoạt tải sàn P_k (như tổ hợp cơ bản 1 của TCVN) thì các hệ số trong các tiêu chuẩn như sau:

Tiêu chuẩn Pháp BEAL - 99:

$$S_1 = 1,35G_{max} + G_{min} + 1,5P_k$$

Tiêu chuẩn Anh BS8110:

$$S_1 = 1,4G_{max} + G_{min} + 1,6P_k$$

Tiêu chuẩn Mỹ - ACI 318:

$$S_1 = 1,4G + 1,7P_k$$

Khi xét tác dụng của cả hoạt tải sàn P_k và hoạt tải gió P_w thì:

Tiêu chuẩn Pháp:

$$S_2 = 1,35G + 1,5P_k + P_w$$

Hoặc:

$$S_2 = G + 1.5P_w + 1.3\psi_0 P_k$$

$$\psi_0 = 0,77 \div 0,9.$$

Tiêu chuẩn Anh:

$$S_2 = 1,2G + 1,2P_k + 1,2P_w$$

Tiêu chuẩn Mỹ:

$$S_2 = 0,75(1,4G + 1,7P_k) + 1,6P_w$$

Cần chú ý rằng hệ số trong tổ hợp nội lực được lấy cao hơn chưa khẳng định được là độ an toàn của kết cấu sẽ cao hơn vì rằng độ an toàn còn phụ thuộc vào giá trị cường độ của vật liệu được dùng trong tính toán (hoặc hệ số độ tin cậy đối với cường độ vật liệu). Cùng một loại bêtông và một loại thép thì cường độ để tính toán trong các tiêu chuẩn có giá trị khác nhau. Chính vì điều này các cán bộ thiết kế cần lưu ý khi sử dụng các tiêu chuẩn. Đã xác định nội lực theo tiêu chuẩn nào thì phải lấy cường độ vật liệu theo tiêu chuẩn tương ứng để tính toán, nếu không thì có thể gặp phải những nhầm lẫn đáng tiếc.

1.3.2. Tổ hợp nội lực khung phẳng theo TCVN

Việc tổ hợp nội lực cơ bản của kết cấu khung phẳng được giới thiệu khá chi tiết trong nhiều tài liệu và giáo trình. Ở đây chỉ trình bày một số vấn đề cơ bản.

Tổ hợp nội lực được lập riêng cho cột và dầm. Với cột cần tiến hành tổ hợp đồng thời lực dọc N và mômen uốn M cho từng tiết diện vì rằng khi tính toán cốt thép cần sử dụng cùng lúc cả N và M. Với mômen M cần quy định chiều dương và trong bảng tổ hợp giá trị của M được mang dấu đại số.

Trong mỗi tổ hợp, tại mỗi tiết diện cần tổ hợp để tìm ra các cặp nội lực: M_{max} và N tương ứng, M_{min} (giá trị max theo chiều ngược lại) và N tương ứng. N_{max} và M tương ứng. Thí dụ về tổ hợp nội lực của một đoạn cột của khung nhà dân dụng được trình bày ở bảng 1.1, còn thí dụ về tổ hợp nội lực của một tiết diện cột nhà công nghiệp một tầng có cầu trục được trình bày ở bảng 1.2.

Bảng 1.1. Bảng tổ hợp nội lực cột khung nhà dân dụng

Tiết diện	Nội lực	Nội lực do tĩnh tải	Nội lực do hoạt tải			Nội lực do gió		Tổ hợp cơ bản 1			Tổ hợp cơ bản 2		
			TH1	TH2	TH3	Trái	Phải	M_{max} $N_{tư}$	M_{min} $N_{tư}$	N_{max} $M_{tư}$	M_{max} $N_{tư}$	M_{min} $N_{tư}$	N_{max} $M_{tư}$
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	M	27	21	−3	18	−36	38	65	−9	45	80	−8	77,4
	N	230	100	39	139	−7	9	239	223	369	328	259	363
B	M	−14	−10	2	−8	37	−35	23	−49	−22	21	−54,5	−53
	N	240	100	39	139	−7,5	6	232	246	379	268	335	370

Ô A7: $M_{max} = 27 + 38 = 65$; $N_{tư} = 230 + 9 = 239$

A8: $M_{min} = 27 - 36 = -9$; $N_{tư} = 230 - 7 = 223$

A9: $N_{max} = 230 + 139 = 369$; $M_{tư} = 27 + 18 = 45$

A10: $M_{max} = 27 + 0,9\,(21 + 38) = 80$; $N_{tư} = 230 + 0,9\,(100 + 9) = 328$

A11: $M_{min} = 27 + 0,9\,(-3 - 36) = -8$; $N_{tư} = 230 + 0,9\,(39 - 7) = 259$

A12: $N_{max} = 230 + 0,9\,(139 + 9) = 363$; $M_{tư} = 27 + 0,9\,(18 + 38) = 77.4$

B12: $N_{max} = 240 + 0,9\,(139 + 6) = 370$; $M_{tư} = -14 + 0,9\,(-8 - 35) = -53$

Bảng 1.2. Bảng tổ hợp nội lực cột nhà công nghiệp

Tiết diện	Nội lực	Nội lực do tĩnh tải	Nội lực do hoạt tải mái			Nội lực do cầu trục				Nội lực do gió	
						Bên trái		Bên phải			
			TH1	TH2	TH3	Do D_{max}	Do T_{max}	Do D_{max}	Do T_{max}	Trái	Phải
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C	M	0,4	−0,5	0,6	0,1	−20	±2	25	±3	14	−14
	N	118	7	8	15	47	0	56	0	0	0

Tổ hợp cơ bản 1			Tổ hợp cơ bản 2		
M_{max} N	M_{min} N	N_{max} M	M_{max} N	M_{min} N	N_{max} M
11	12	13	14	15	16
1, 7, 8 24, 2 165,6	1, 5, 6 –18, 3 158	1, 5. 6, 7, 8 7, 4 190	1, 3, 7, 8, 9 35 150,4	1, 2, 5, 6, 10 –29,5 161	1, 4, 5, 6, 7, 8, 9 19,4 196,4

Trong bảng 1.2, hoạt tải mái được xét 3 trường hợp: trường hợp 1 hoạt tải ở phía bên trái: trường hợp 2 hoạt tải ở phía bên phải; trường hợp 3 hoạt tải ở cả hai bên.

Với nội lực do cầu trục lấy hệ số 0,85 khi xét hoạt động đồng thời của 2 cầu trục và 0,7 khi xét 4 cầu trục.

Ô C11: $M_{max} = 0,4 + 0,85\ (25 + 3) = 24,2$

$N = 118 + 0,85 \times 56 = 165,6$

C12: $M_{min} = 0,4 + 0,85\ (-20 - 2) = -18,3$

$N = 118 + 0,85 \times 47 = 158$

C13: $N_{max} = 118 + 0,7\ (47 + 56) = 190$

$M = 0,4 + 0,7\ (-20 + 2 + 25 + 3) = 7,4$

C14: $M_{max} = 0,4 + 0,9\ [0,6 + 0,85\ (25+3) + 14] = 35$

$N = 118 + 0,9\ [8 + 0,85 \times 56] = 150,4$

C15: $M_{min} = 0,4 + 0,9\ [-0,5 - 0,85(20+2) - 14] = -29,5$

$N = 118 + 0,9\ [7 + 0,85 \times 47] = 161$

C16: $N_{max} = 118 + 0,9\ [15 + 0,7\ (47 + 56)] = 196,4$

$M = 0,4 + 0,9\ [0,1 + 0,7\ )-20 + 2 + 25 + 3) + 14] = 19,4$

Khi tổ hợp nội lực cột thường người ta chỉ chú trọng đến các cặp nội lực gồm M và N tác dụng đồng thời mà bỏ qua lực cắt với nhận xét là lực cắt trong cột khá bé, riêng bêtông đủ khả năng chịu mà không cần tính toán cốt thép ngang (để chịu lực cắt). Với tiết diện ở chân cột còn phải tổ hợp thêm lực cắt để có số liệu khi tính móng. Với những tiết diện khác, nếu thấy rằng lực cắt là đáng kể, cần phải tính toán cốt thép ngang thì cũng cần tổ hợp thêm lực cắt.

Với dầm khung, nội lực chủ yếu là mômen uốn M và lực cắt Q, ngoài ra còn có lực dọc N (nén hoặc kéo). Thông thường đối với dầm có thể bỏ qua ảnh hưởng của lực nén nếu $N_n \le 0,1\ R_b bh_0$ và bỏ qua ảnh hưởng của lực kéo N_k nếu $N_k \le 0,1\ R_{bt}\ bh_0$. ($R_b$ và R_{bt} là cường độ tính toán của bêtông về nén và kéo) và chỉ tổ hợp nội lực M và Q. Cần tổ hợp riêng M và Q để vẽ biểu đồ bao của M và của Q. Với dầm không tổ hợp M và Q

tương ứng vì M và Q được dùng riêng để tính toán cốt thép dọc và cốt thép ngang (không dùng đồng thời như M và N ở trong cột). Tổ hợp nội lực của một đoạn dầm khung được trình bày ở bảng 1.3, 1.4 và trên hình 1.6.

Bảng 1.3. Tổ hợp mômen của dầm khung

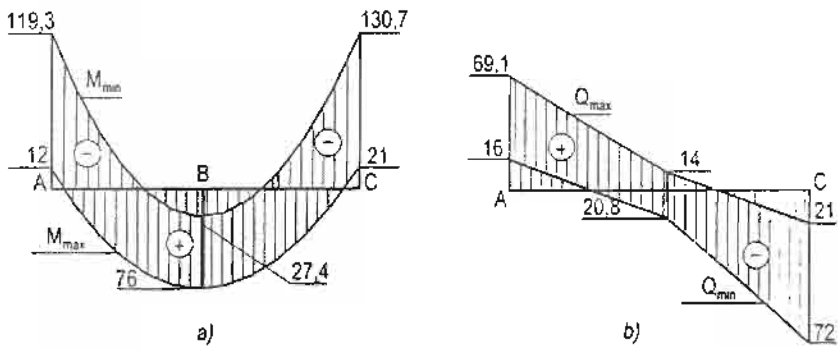
Tiết diện	Nội lực do tĩnh tải	Nội lực do hoạt tải sàn			Nội lực do gió		Tổ hợp CB1		Tổ hợp CB2	
		TH 1	TH 2	TH 3	Trái	Phải	M_{max}	M_{min}	M_{max}	M_{min}
A	– 50	– 25	–20	–45	38	–32	–12	–95	–	–119,3
B	40	36	–10	26	3	–4	76	30	75,1	27,4
C	–56	–22	–24	–46	–37	35	–21	–102	–	–130,7

Bảng 1.4. Tổ hợp lực cắt của dầm khung

Tiết diện	Nội lực do tĩnh tải	Nội lực do hoạt tải			Nội lực do gió		Tổ hợp CB1		Tổ hợp CB2	
		TH 1	TH 2	TH 3	Trái	Phải	Q_{max}	Q_{min}	Q_{max}	Q_{min}
A	34	24	–8	16	15	–12	58	22	69,1	16
B	–1	–2	–8	–10	15	–12	14	–13	–	–20,8
C	–36	–20	–8	–28	15	–12	–21	–64	–	–72

Cần chú ý rằng M_{max} và M_{min} cũng như Q_{max} và Q_{min} được thể hiện với dấu đại số và có thể là khác dấu hoặc cùng dấu.

Hình bao mômen và hình bao lực cắt của đoạn dầm được thể hiện trên hình 1.6.



Hình 1.6. Hình bao mômen và lực cắt của dầm khung

Cần chú ý rằng, để vẽ được hình bao mômen chính xác hơn thì cần tính thêm giá trị M_{max}, M_{min} cho một số tiết diện nữa ở khoảng giữa của dầm. Hình bao lực cắt vẽ ở hình 1.6b ứng với trường hợp đoạn dầm không chịu tải trọng tập trung. Nếu trên đoạn dầm có tải trọng tập trung thì biểu đồ lực cắt có bước nhảy tại nơi đặt lực tập trung, cần xác định thêm Q_{max}, Q_{min} tại các tiết diện đó.

Trong trường hợp nếu xét thấy không thể bỏ qua lực dọc N khi tính toán dầm thì cần phải tổ hợp mômen M trong dầm cùng với lực dọc N như đối với cột.

1.3.3. Tổ hợp nội lực khung không gian

So với việc tổ hợp nội lực khung phẳng thì tổ hợp nội lực khung không gian là phức tạp hơn rất nhiều vì phải xét đồng thời đến 6 thành phần nội lực.

1.3.3.1. Tổ hợp nội lực dầm

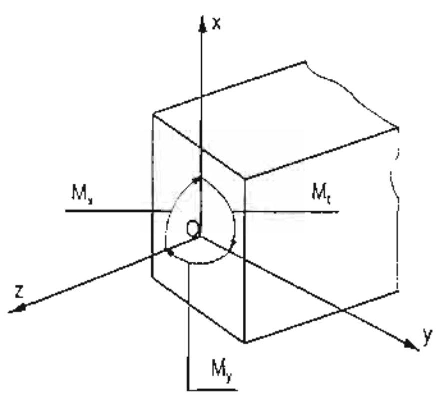
Gắn các trục Oxyz vào dầm như trên hình 1.7. Thông thường cần quan tâm tới M_x, Q_x là nội lực tác dụng trong mặt phẳng xOz mà có thể bỏ qua M_y, Q_y tác dụng trong mặt yOz. Tuy vậy với khung không gian còn cần chú ý đến mômen xoắn M_t tác dụng trong mặt phẳng xOy (vuông góc với trục dầm).

Khi xét thấy không thể bỏ qua mômen xoắn M_t thì cần tổ hợp nó cùng với mômen uốn để tính toán hoặc kiểm tra cốt thép chịu đồng thời uốn và xoắn.

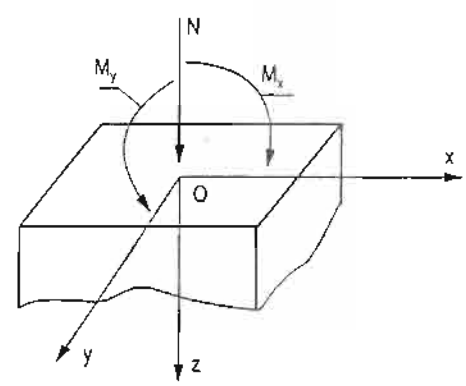
1.3.3.2. Tổ hợp nội lực cột

Gắn trục Oxyz vào cột như trên hình 1.8. Tổ hợp nội lực cần quan tâm gồm lực dọc N và các mômen M_x, M_y. Ngoài ra trong những trường hợp cần thiết còn phải xét đến lực cắt Q_x, Q_y và mômen xoắn M_t.

Để xác định được các giá trị bất lợi của M_x, M_y và N cần phải chú ý phân tích sơ đồ khi tính với tải trọng đứng và tải trọng ngang.



Hình 1.7. Các mômen trong dầm khung không gian

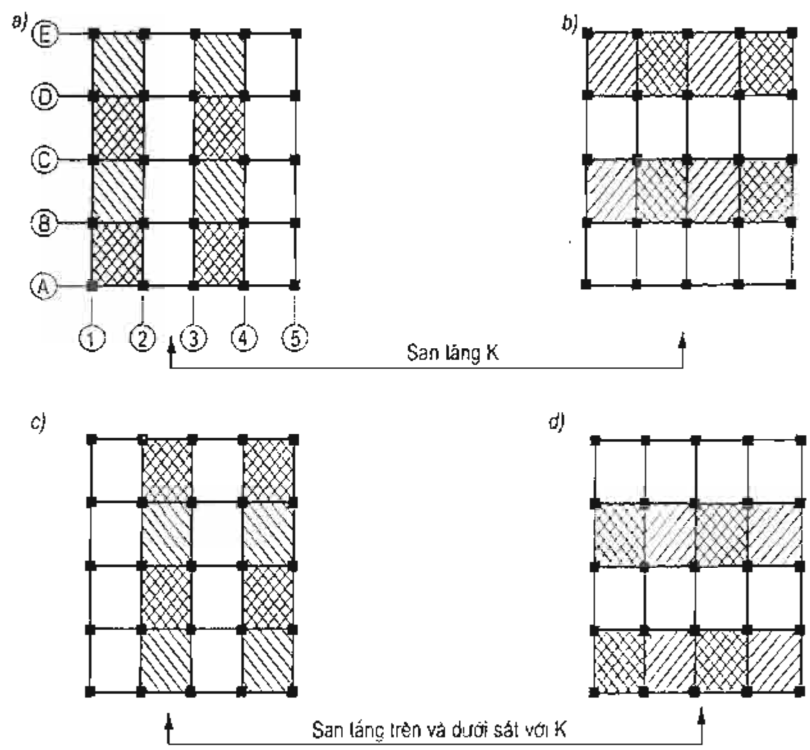


Hình 1.8. Nội lực chủ yếu trong cột khung không gian

a) Với hoạt tải đứng trên sàn

Lấy ví dụ mặt bằng kết cấu với 2 sàn thuộc hai tầng liên tiếp như trên hình 1.9. Tương tự như trường hợp xếp hoạt tải cách tầng cách nhịp ở hình 1.5b, c cần xét 4 dạng

chất tải: cách tầng cách nhịp theo phương ngang và cách tầng cách nhịp theo phương dọc. Ở các ô gạch chéo hai phương được chất 100% hoạt tải còn các ô gạch chéo theo một phương được chất 50% hoạt tải. Tuy vậy cách chất tải như thế mới tạo ra sự bất lợi cho cột còn với dầm thì chưa được hoàn toàn. Để có được giá trị bất lợi nhất của mômen dương ở giữa mỗi nhịp dầm thì cần chất 100% hoạt tải lên các ô có gạch chéo. Chú ý rằng nếu chất hoạt tải như vừa nói, khi tổ hợp nội lực để tính cột sẽ có những ô được chất hoạt tải gấp đôi, làm tăng quá mức lực nén trong cột.



Hình 1.9. Sơ đồ chất hoạt tải đứng lên sàn để tính nội lực khung không gian

Ngoài 4 trường hợp chất hoạt tải cách tầng cách nhịp còn xét thêm trường hợp chất hoạt tải lên toàn bộ sàn.

Trong những nhà nhiều tầng có tĩnh tải khá lớn so với hoạt tải ($g \geq 2p$ với g và p là tĩnh tải và hoạt tải trên dầm) và có chiều cao nhà khá lớn (trên 40 mét) thì mômen trong dầm và cột do hoạt tải đứng gây ra là khá bé so với mômen do tĩnh tải và tải trọng gió gây ra. Lúc này có thể tính toán gần đúng bằng cách bỏ qua các trường hợp xếp hoạt tải đứng cách tầng cách nhịp mà gộp toàn bộ hoạt tải sàn và tĩnh tải để tính.

Tổ hợp nội lực cho cột khung không gian cần xét các trường hợp sau:

$M_{x\,max}$, M_y và $N_{\text{tương ứng}}$;

$M_{y\,max}$, M_x và $N_{\text{tương ứng}}$;

N_{max}, M_x và $M_{y\,\text{tương ứng}}$;

Trong quá trình tính toán nội lực cần quy định dấu của M_x, M_y; khi tổ hợp cũng phải chú ý đến dấu. Tuy vậy cột khung không gian thường được bố trí cốt thép đối xứng do đó khi tổ hợp chỉ cần tìm $M_{x\ max}$ và $M_{y\ max}$ là những mômen lớn nhất về giá trị tuyệt đối mà không cần tìm giá trị lớn nhất của M dương và M âm. Nếu có dự kiến đặt cốt thép không đối xứng thì bắt buộc phải tổ hợp để tìm được các bộ ba nội lực với M_x, M_y có giá trị dương lớn nhất (max) và giá trị âm nhỏ nhất (min - mômen âm có giá trị tuyệt đối lớn nhất).

1.4. ĐẠI CƯƠNG VỀ CỘT

1.4.1. Chiều dài và chiều dài tính toán

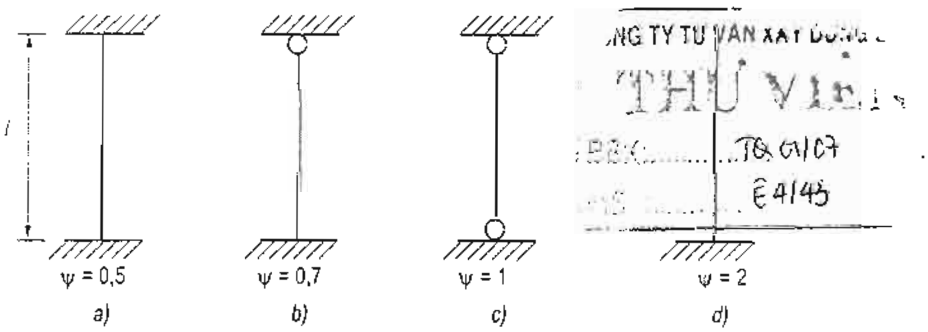
Trong kết cấu khung nhà có thể xem chiều dài mỗi cột được tính từ mái đến móng. Tuy vậy trong tính toán xem mỗi cột chỉ là đoạn cột trong mỗi tầng. Chiều dài thật của cột ký hiệu là l là khoảng cách giữa hai liên kết (liên kết có tác dụng ngăn cản chuyển vị ngang của cột).

Chiều dài tính toán của cột ký hiệu là l_0, là chiều dài được xác định theo sơ đồ biến dạng của cột, được lấy bằng chiều dài bước sóng khi cột bị mất ổn định vì bị uốn dọc.

$$l_0 = \psi l \qquad (1\text{-}1)$$

ψ - hệ số phụ thuộc vào sơ đồ biến dạng, cũng tức là phụ thuộc vào liên kết ở hai đầu cột.

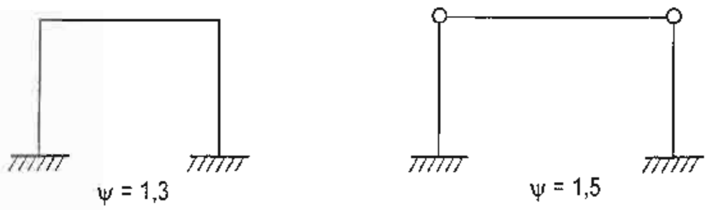
Với các sơ đồ lý tưởng, lấy ψ theo hình 1.10.



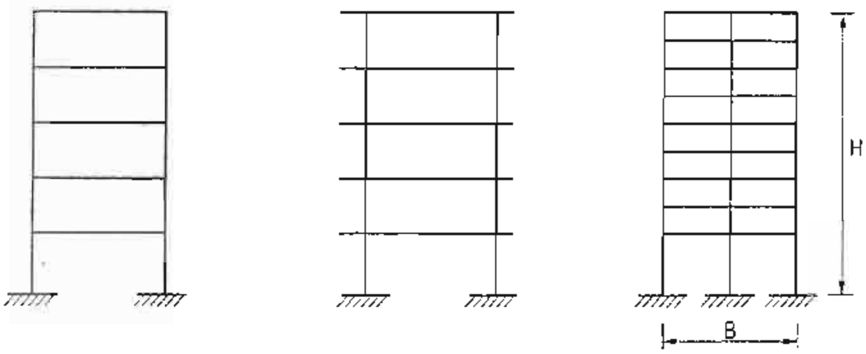
Hình 1.10. Các sơ đồ lý tưởng của cột

Cần chú ý rằng trong sơ đồ lý tưởng ngàm là liên kết cản trở mọi chuyển vị thẳng và xoay, khớp là liên kết cản trở chuyển vị thẳng (xoay được). Các liên kết trong thực tế không giống hoàn toàn với liên kết lý tưởng. Trong kết cấu khung bêtông cốt thép toàn khối, liên kết giữa dầm và cột chỉ có thể xem là liên kết cứng mà không phải là ngàm vì nút khung có thể có chuyển vị ngang và chuyển vị xoay.

Với các kết cấu thực tế, hệ số ψ được lấy trên cơ sở phân tích sơ đồ biến dạng.



Hình 1.11. Khung một tầng một nhịp



Hình 1.12. Khung nhiều tầng 1 nhịp, 2 nhịp

a) Khung một nhịp, nhiều tầng có liên kết cứng giữa dầm và cột

Khi sàn toàn khối:

- Cột tầng dưới cùng ψ = 1.

- Cột các tầng trên ψ = 1,25.

Khi sàn lắp ghép:

- Cột tầng dưới cùng ψ = 1,25.

- Cột các tầng trên ψ = 1,5.

b) Khung nhiều tầng có liên kết cứng giữa dầm và cột, có hai nhịp (ba cột) mà tổng hai nhịp B nhỏ hơn một phần ba chiều cao H.

Hệ số ψ lấy theo mục a nhân với 0,85.

c) Khung nhiều tầng có liên kết cứng giữa dầm và cột có từ ba nhịp (4 cột) trở lên hoặc có hai nhịp mà tổng hai nhịp lớn hơn 1/3 chiều cao toàn khung:

- Khi sàn toàn khối ψ = 0,7.

- Khi sàn lắp ghép ψ = 1.

d) Khung đỡ cầu trục, khung nhà công nghiệp một tầng có cột liên kết khớp với kết cấu mái mà mái thì cứng trong mặt phẳng của nó, có khả năng truyền tải trọng ngang, lấy l_0 theo bảng 1.5.

Bảng 1.5. Chiều dài tính toán l_0 của cột nhà một tầng

Đặc trưng				Giá trị l_0 khi tính trong mặt phẳng		
				Khung ngang hoặc vuông góc với trục cầu cạn	Vuông góc với khung ngang hoặc song song với trục cầu cạn khi	
					Có	Không có
					Các giằng trong mặt phẳng của hàng cột dọc hoặc của các gối neo	
Nhà có cầu trục	Khi kể đến tải trọng do cầu trục	Phần cột dưới dầm cầu trục	Không liên tục	1,5 H_1	0,8H_1	1,2H_1
			Liên tục	1,2H_1	0,8H_1	0,8H_1
		Phần cột trên dầm cầu trục	Không liên tục	2,0 H_2	1,5H_2	2,0H_2
			Liên tục	2,0 H_2	1,5H_2	1,5H_2
	Khi không kể đến tải trọng do cầu trục	Phần cột dưới dầm cầu trục	Một nhịp	1,5 H	0,8H_1	1,2H
			Nhiều nhịp	1,2 H	0,8H_1	1,2H
		Phần cột trên dầm cầu trục	Không liên tục	2,5 H_2	1,5H_2	2,0H_2
			Liên tục	2,0 H_2	1,5H_2	1,5H_2
Nhà không có cầu trục	Cột bậc	Phần cột dưới	Một nhịp	1,5 H	0,8H	1,2H
			Nhiều nhịp	1,2 H	0,8H	1,2H
		Phần cột trên		2,5 H_2	2,0H_2	2,5H_2
	Cột có tiết diện không đổi		Một nhịp	1,5 H	0,8H	1,2H
			Nhiều nhịp	1,2 H	0,8H	1,2H
Cầu cạn	Khi có dầm cầu trục		Không liên tục	2,0 H_1	0,8H_1	1,5H_1
			Liên tục	1,5 H_1	0,8H_1	1,0H_1
	Khi liên kết giữa cột đỡ đường ống và nhịp		Khớp	2,0H	1,0H	2,0H
			Cứng	1,5H	0,7H	1,5H

Ký hiệu:

H - chiều cao toàn bộ của cột tính từ mặt trên móng đến kết cấu ngang (giàn kèo hoặc thanh xiên của dầm đỡ vì kèo) trong mặt phẳng tương ứng;

H_1 - chiều cao phần cột dưới (tính từ mặt trên của móng đến mặt dưới dầm cầu trục).

H_2 - chiều cao phần cột trên (tính từ mặt trên của bậc cột đến kết cấu ngang trong mặt phẳng tương ứng).

Ghi chú: *Nếu có liên kết đến đỉnh cột trong nhà có cầu trục, chiều cao tính toán phần cột trên trong mặt phẳng chứa trục hàng cột dọc lấy bằng H_2.*

1.4.2. Tiết diện cột

Hình dáng tiết diện cột thường là chữ nhật, vuông, tròn. Cũng có thể gặp cột có tiết diện chữ T, chữ I hoặc vòng khuyên.

Việc chọn hình dáng, kích thước tiết diện cột dựa vào các yêu cầu về kiến trúc, kết cấu và thi công.

Về kiến trúc, đó là các yêu cầu về thẩm mỹ và yêu cầu về sử dụng không gian. Với các yêu cầu này người thiết kế kiến trúc định ra hình dáng và các kích thước tối đa, tối thiểu có thể chấp nhận được, thảo luận với người thiết kế kết cấu để sơ bộ chọn lựa.

Về kết cấu, kích thước tiết diện cột cần bảo đảm độ bền và độ ổn định. Độ bền sẽ được tính toán hoặc kiểm tra (đây là nội dung chính của tài liệu này).

Về độ ổn định, đó là việc hạn chế độ mảnh λ.

$$\lambda = \frac{l_0}{i} \le \lambda_{gh} \qquad (1\text{-}2)$$

Trong đó:

i - bán kính quán tính của tiết diện. Với tiết diện chữ nhật cạnh b (hoặc h) thì i = 0.288b (0.288h). Với tiết diện tròn đường kính D thì i = 0.25D.

λ_{gh} - độ mảnh giới hạn, với cột nhà λ_{gh} = 100.

Về thi công, đó là việc chọn kích thước tiết diện cột thuận tiện cho việc làm và lắp dựng ván khuôn, việc đặt cốt thép và đổ bêtông. Theo yêu cầu này kích thước tiết diện nên chọn là bội số của 2; 5 hoặc 10cm.

Việc chọn kích thước cột theo độ bền (chọn sơ bộ) có thể tiến hành bằng cách tham khảo các kết cấu tương tự (đã được xây dựng hoặc thiết kế), theo kinh nghiệm thiết kế hoặc bằng cách tính toán gần đúng.

Diện tích tiết diện cột là A_0 xác định theo công thức (1-3).

$$A_0 = \frac{k_t N}{R_b} \qquad (1\text{-}3)$$

Trong đó:

R_b- cường độ tính toán về nén của bêtông. Xem phụ lục 1; 2.

N - lực nén, được tính toán gần đúng như sau:

$$N = m_s q F_s \qquad (1\text{-}4)$$

F_s - diện tích mặt sàn truyền tải trọng lên cột đang xét;

m_s - số sàn phía trên tiết diện đang xét (kể cả mái);

q - tải trọng tương đương tính trên mỗi mét vuông mặt sàn trong đó gồm tải trọng thường xuyên và tạm thời trên bản sàn, trọng lượng dầm, tường, cột đem tính ra phân bố đều trên sàn. Giá trị q được lấy theo kinh nghiệm thiết kế.

Với nhà có bề dày sàn là bé (10 ÷14cm kể cả các lớp cấu tạo mặt sàn), có ít tường, kích thước của dầm và cột thuộc loại bé, $q = 10 \div 14kN/m^2$ $(1 \div 1,4T/m^2)$

Với nhà có bề dày sàn trung bình (15 ÷ 20cm), tường, dầm, cột là trung bình hoặc lớn, $q = 15 \div 18\ kN/m^2$.

Với nhà có bề dày sàn khá lớn (trên 25cm), cột và dầm đều lớn thì q có thể đến $20kN/m^2$ hoặc hơn nữa.

k_t - hệ số xét đến ảnh hưởng khác như mômen uốn, hàm lượng cốt thép, độ mảnh của cột. Xét sự ảnh hưởng này theo sự phân tích và kinh nghiệm của người thiết kế, khi ảnh hưởng của mômen là lớn, độ mảnh cột lớn (l_0 lớn) thì lấy k_t lớn, vào khoảng 1,3 ÷ 1,5. Khi ảnh hưởng của mômen là bé thì lấy $k_t = 1,1 \div 1,2$.

Trường hợp thiết kế kết cấu chịu tải trọng động đất thì kích thước của cột còn phải tuân theo điều kiện về hạn chế tỷ số nén $n_c = \dfrac{N}{R_b A_0}$. Rõ ràng là với n_c bé thì cần tăng hệ số k_t.

Sau khi sơ bộ tính được A_0 thì tiến hành chọn kích thước tiết diện cột. Với tiết diện chữ nhật tỷ lệ giữa cạnh lớn và cạnh bé không quá 4 (nếu tỷ lệ lớn hơn 4 thì phải xem là tấm tường).

Kích thước tiết diện cột được chọn sơ bộ có được xem là hợp lý hay không về mặt chịu lực chỉ được đánh giá sau khi đã tính toán hoặc bố trí cốt thép và dựa vào tỷ lệ phần trăm cốt thép. Nếu phát hiện được kích thước đã chọn là quá bất hợp lý (quá lớn hoặc quá bé) thì nên chọn lại và tính lại.

Trong nhà nhiều tầng, theo chiều cao nhà từ móng đến mái lực nén trong cột giảm dần. Để bảo đảm sự hợp lý về sử dụng vật liệu thì càng lên cao nên giảm khả năng chịu lực của cột. Việc giảm này có thể thực hiện bằng:

- Giảm kích thước tiết diện cột.
- Giảm cốt thép trong cột.
- Giảm mác bêtông.

Trong ba cách trên thì việc giảm cốt thép là đơn giản hơn cả nhưng phạm vi điều chỉnh không lớn. Cách giảm kích thước tiết diện là có vẻ hợp lý hơn về mặt chịu lực nhưng làm phức tạp cho thi công và ảnh hưởng không tốt đến sự làm việc tổng thể của ngôi nhà khi tính toán về giao động. Thông thường thì nên kết hợp cả ba cách trên.

1.4.3. Cốt thép trong cột

Cốt thép trong cột gồm cốt thép dọc chịu lực, cốt thép dọc cấu tạo và cốt thép ngang.

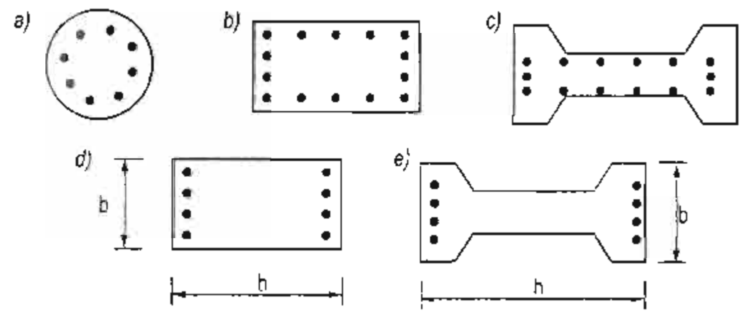
1.4.3.1. Cốt thép dọc chịu lực

Đó là các cốt thép được tính toán hoặc được kiểm tra để chịu nội lực trong cột. Thường dùng các loại thép có cường độ tính toán $R_s = 260 \div 400$MPa ($2600 \div 4000$kG/cm^2), đường kính thanh thép $12 \div 40$mm. Khi cạnh tiết diện cột lớn hơn 200mm, đường kính cốt thép phải từ 16mm trở lên (trừ trường hợp cốt thép tính được quá bé, chỉ cần đặt theo yêu cầu tối thiểu).

Trong tiết diện tròn cốt thép được đặt đều theo chu vi (hình 1.13a). Trong tiết diện vuông, chữ nhật, chữ T hoặc chữ I có hai cách đặt:

- Đặt theo chu vi (hình 1.13b, c).

- Đặt tập trung trên cạnh vuông góc với mặt phẳng uốn (cạnh b - hình 1.13d, e).



Hình 1.13. Các cách đặt cốt thép dọc chịu lực

Trường hợp cột vừa chịu nén vừa chịu uốn trong một mặt phẳng đối xứng (nén lệch tâm phẳng) thì đặt cốt thép tập trung trên cạnh b là hợp lý về mặt chịu lực vì cốt thép phát huy được tối đa khả năng của nó. Đặt cốt thép theo chu vi thích hợp cho cột làm việc không gian (bị uốn theo hai phương - nén lệch tâm xiên). Trường hợp nén lệch tâm phẳng cũng có thể đặt cốt thép theo chu vi để thuận tiện cho thi công và cũng để khỏi phải đặt thêm cốt thép cấu tạo trên cạnh h (cạnh song song với mặt phẳng uốn).

Đặt A_{st} - diện tích tiết diện toàn bộ cốt thép chịu lực.

A_b - diện tích tiết diện bêtông.

$$\mu_s = \frac{A_{st}}{A_b} \text{ hoặc } \mu_s\% = \frac{100A_{st}}{A_b}$$

μ_s - tỷ lệ cốt thép.

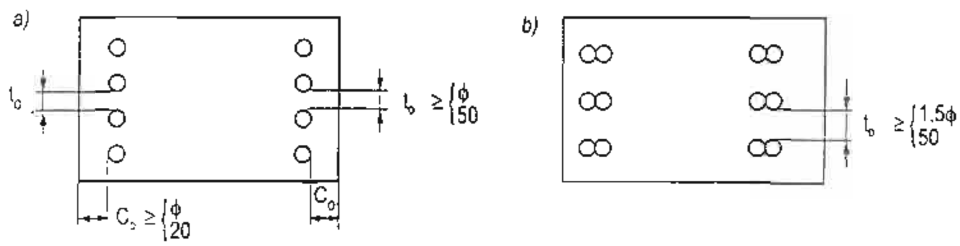
Điều kiện hạn chế là:

$$\mu_{min} \le \mu_s \le \mu_{max} \qquad (1.5)$$

μ_{min} - tỷ lệ cốt thép tối thiểu, thường lấy $\mu_{min} = 0,005 = 0,5\%$.

μ_{max} - tỷ lệ cốt thép tối đa. Trong một số tiêu chuẩn thiết kế lấy $\mu_{max} = 0.06 = 0,6\%$.

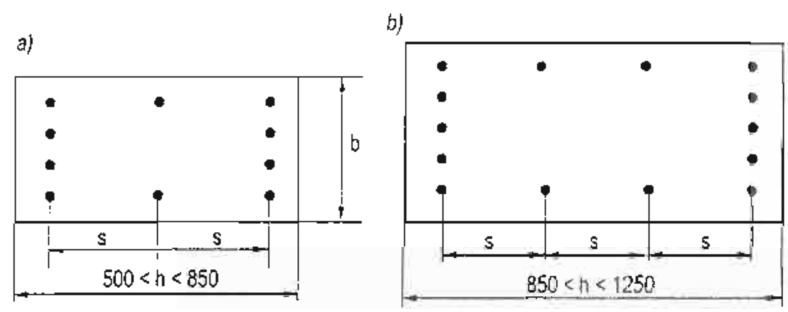
Khi bố trí cốt thép dọc cần đảm bảo điều kiện về chiều dày lớp bảo vệ và khoảng hở giữa các thanh cốt thép. Trong mọi trường hợp chiều dày lớp bảo vệ (c_0) và khoảng hở giữa các thanh cốt thép (t_0) không được nhỏ hơn đường kính thanh (ϕ) (hình 1.14a). Ngoài ra với cột có chiều cao tiết diện h từ 250mm trở lên thì chiều dày lớp bảo vệ không nhỏ hơn 20mm. Với cốt thép có vị trí đứng khi đổ bêtông khoảng hở giữa các thanh không nhỏ hơn 50mm. Trong điều kiện kích thước tiết diện bị hạn chế mà buộc phải đặt nhiều cốt thép thì được phép đặt cốt thép thành đôi, ghép sát vào nhau theo phương chuyển động của vữa bêtông khi đổ, lúc này khe hở giữa các đôi cốt thép không được nhỏ hơn 1.5 lần đường kính thanh (hình 1.14b).



Hình 1.14. Lớp bảo vệ và khoảng hở của cốt thép

1.4.3.2. Cốt thép dọc cấu tạo

Trong trường hợp cốt thép dọc chịu lực được đặt tập trung trên cạnh b mà cạnh h > 500 mm thì dọc theo cạnh h cần đặt cốt thép dọc cấu tạo có đường kính từ 12 ÷16mm. Khoảng cách giữa các trục các thanh cốt thép đo dọc theo cạnh h là s không được lớn hơn 400mm. Diện tích thanh cốt dọc cấu tạo không nhỏ hơn $0{,}001sb_1$ với b_1 = min (0,5b và 200mm).



Hình 1.15.
Cốt thép dọc cấu tạo

1.4.3.3. Cốt thép ngang

Cốt thép ngang của cột khi dùng khung cốt buộc là những cốt đai khép kín và những thanh neo được uốn móc chuẩn ở hai đầu. Cốt thép ngang trong cột có nhiệm vụ liên kết với các cốt thép dọc thành khung chắc chắn, giữ đúng vị trí cốt thép khi thi công, giữ ổn định cho cốt thép dọc chịu nén. Khi chịu nén, cốt thép dọc có thể bị cong, phá vỡ lớp bêtông bảo vệ và bật ra khỏi bêtông. Cốt đai giữ cho cốt dọc không bị cong và bật ra ngoài, lúc này cốt thép đai chịu kéo và nếu nó không được neo chắc chắn thì có thể bị bung ra hoặc cốt đai quá bé thì có thể bị kéo đứt.

Đường kính cốt thép đai $\phi_{dai} \geq 0,25\phi_{doc\ max}$ (có tiêu chuẩn quy định $\phi_{dai} \geq 0,3\phi_{doc}$).

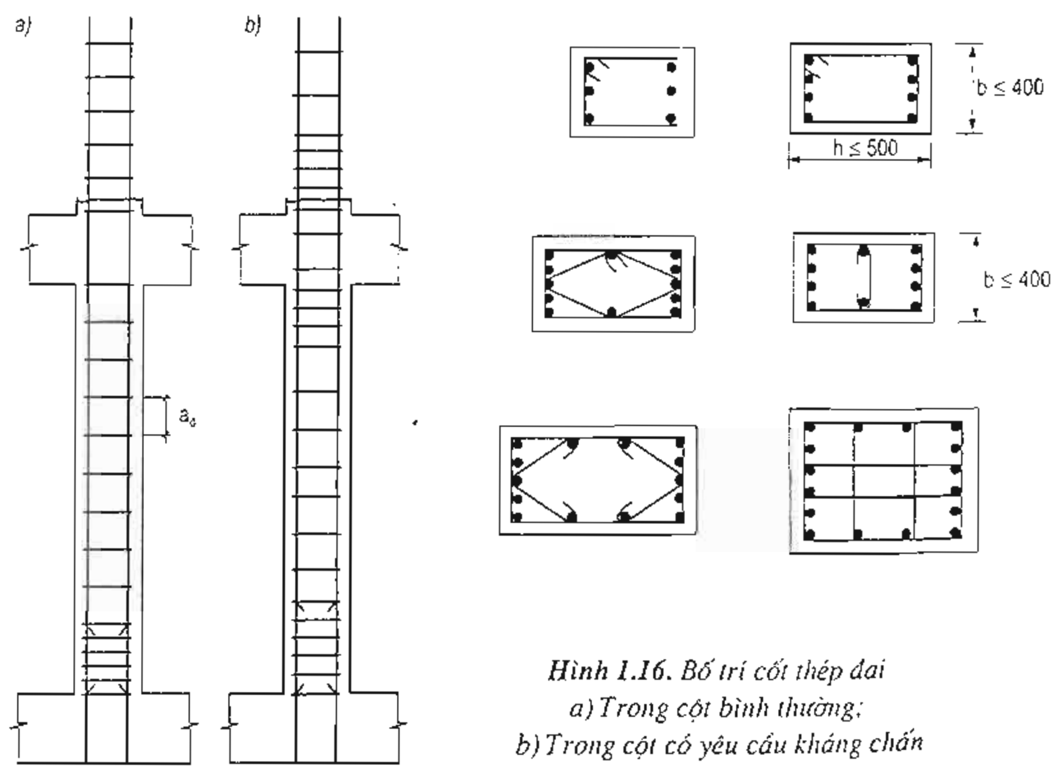
Bố trí cốt thép đai dọc theo chiều cao cột tùy thuộc vào kết cấu có yêu cầu chống động đất (kháng chấn) hay không.

Với kết cấu bình thường (không kháng chấn) khoảng cách của cốt thép đai trong toàn bộ cột (trừ đoạn nối buộc cốt thép dọc) là $a_d \leq \alpha_d\ \phi_{doc\ min}$. Lấy $\alpha_d = 15$ khi tỷ số cốt thép $\mu_s \leq 0,03$ và $\alpha_d = 10$, khi $\mu_s > 0,03$, đồng thời $a_d \leq 400$mm.

Trong vùng nối cốt thép dọc cần phải đặt cốt thép đai dày hơn với khoảng cách không quá $10\phi_{doc\ min}$. Trong đoạn nối buộc cốt thép dọc phải có ít nhất 4 cốt đai (hình 1.16a).

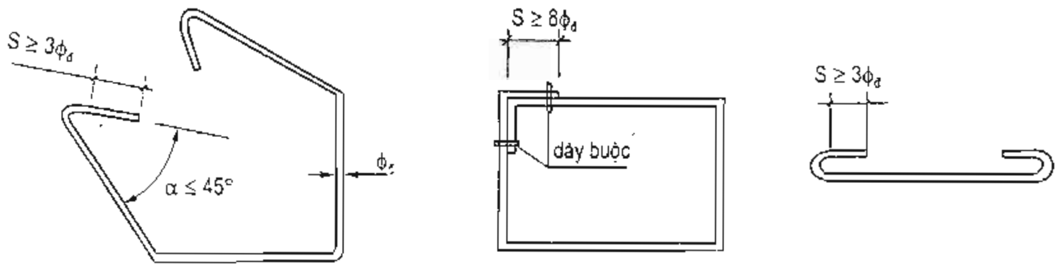
Với kết cấu có yêu cầu kháng chấn cốt thép đai cần được đặt dày hơn trong đoạn gần sát với nút khung. Mức độ đặt dày của cốt đai phụ thuộc vào cấp chống động đất của công trình (hình 1.16b). Ngoài ra còn có yêu cầu đặt cốt đai cho cột ở trong phạm vi nút khung khi nút khung có dầm liên kết từ 3 mặt bên trở xuống.

Về hình dạng, cốt đai phải bao quanh toàn bộ các cốt thép dọc và ít nhất cách một thanh cốt thép dọc có một thanh đặt vào góc của cốt đai (hình 1.16). Trường hợp cạnh b ≤ 400mm mà trên đó đặt 4 thanh cốt thép dọc thì có thể không tuân theo quy định vừa nêu. (Tiêu chuẩn Pháp BAEL quy định mọi thanh cốt thép dọc có $\phi \geq 20$ đều phải được neo giữ bằng cốt thép đai để không thể bị uốn cong bật ra khỏi bêtông).



Hình 1.16. Bố trí cốt thép đai
a) Trong cột bình thường;
b) Trong cột có yêu cầu kháng chấn

Cốt đai làm việc chịu kéo do đó đầu mút phải được neo chắc chắn, thường làm móc neo gập $\alpha \le 45°$ với đoạn thẳng đầu mút $S \ge 3\phi_{dai}$. Trường hợp làm neo gập 90° thì đoạn thẳng $S \ge 8\phi_{dai}$ và cần dùng dây thép buộc đầu mút vào với thanh cốt đai, tránh cho khi cốt đai chịu kéo mút bật ra ngoài (hình 1.17). Khi dùng thanh neo đơn, hai đầu phải có móc neo tiêu chuẩn với $S \ge 3\phi_{dai}$.



Hình 1.17. Neo cốt thép đai

1.5. NỘI LỰC VÀ ĐỘ LỆCH TÂM

1.5.1. Nén đúng tâm và nén lệch tâm

Cột chịu lực nén N là chủ yếu. Ngoài ra cột còn có thể bị uốn theo một phương hoặc hai phương.

Khi cột chỉ chịu một lực nén N đặt đúng dọc theo trục của nó, cột chịu nén đúng tâm. Thực ra nén đúng tâm chỉ là trường hợp lý tưởng, trong thực tế rất ít khi gặp. Khả năng chịu lực của cột chịu nén đúng tâm là N_0 được xác định theo công thức:

$$N_0 = \varphi(R_b A_b + R_{sc} A_{st}) \qquad (1\text{-}6)$$

R_b, R_{sc} - cường độ tính toán chịu nén của bêtông và của cốt thép.

A_b, A_{st} - diện tích tiết diện bêtông và của toàn bộ cốt thép dọc.

$\varphi \le 1$ - hệ số giảm khả năng chịu lực do uốn dọc (hệ số uốn dọc). Xác định φ theo công thức thực nghiệm (1.7), dùng được khi $14 < \lambda \le 104$.

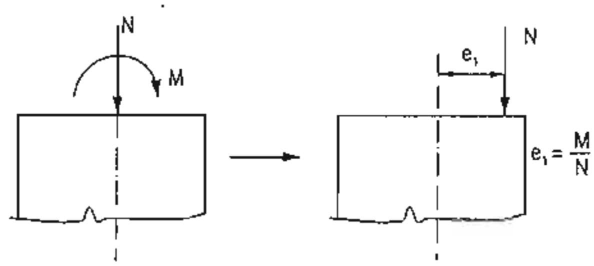
$$\varphi = 1{,}028 - 0{,}0000288\lambda^2 - 0{,}0016\lambda \qquad (1\text{-}7)$$

$\lambda = \dfrac{l_0}{i_{min}}$ - độ mảnh của cột (xem công thức (1-2)).

Khi $\lambda \le 14$, bỏ qua ảnh hưởng uốn dọc, lấy $\varphi = 1$.

Cột vừa chịu nén N vừa chịu uốn M được đổi thành sơ đồ lực nén đặt lệch tâm (hình 1.18) và được gọi là cột chịu nén lệch tâm. Giá trị $e_1 = \dfrac{M}{N}$ được gọi là độ lệch tâm tĩnh học.

Khi mômen uốn M tác dụng trong mặt phẳng chứa trục đối xứng của tiết diện có trường hợp nén lệch tâm phẳng, khi M không nằm trong mặt phẳng đối xứng vừa nêu, có trường hợp nén lệch tâm xiên.



Hình 1.18. Sơ đồ cột chịu nén lệch tâm

1.5.2. Độ lệch tâm và lệch tâm ngẫu nhiên

Ngoài độ lệch tâm $e_1 = \dfrac{M}{N}$, trong tính toán còn cần kể đến độ lệch tâm ngẫu nhiên e_a gây ra bởi những nhân tố chưa xét đến được như sai lệch do thi công. bêtông không đồng nhất v.v... Quy định về việc xét độ lệch tâm ngẫu nhiên e_a trong các tiêu chuẩn thiết kế là khác nhau.

a) Theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 5574 - 1991. (tiêu chuẩn cũ) độ lệch tâm ban đầu e_0 để tính toán là:

$$e_0 = e_1 + e_a \qquad (1\text{-}8)$$

Đối với các cấu kiện chịu nén có sơ đồ tĩnh định hoặc là bộ phận của kết cấu siêu tĩnh nhưng chịu lực nén trực tiếp đặt lên nó thì giá trị e_a lấy không nhỏ hơn 1/25 chiều cao tiết diện và không nhỏ hơn các trị số sau:

20mm đối với cột và các tấm tường có chiều dày từ 250mm trở lên.

15mm đối với các tấm có chiều dày 150 ÷ 250 mm

10mm đối với các tấm có chiều dày dưới 150mm

Đối với các bộ phận của kết cấu siêu tĩnh không chịu lực nén trực tiếp cho phép bỏ qua độ lệch tâm ngẫu nhiên ($e_a = 0$).

b) Theo tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005, độ lệch tâm e_a trong mọi trường hợp lấy không nhỏ hơn 1/600 chiều dài cấu kiện và 1/30 chiều cao tiết diện. Độ lệch tâm ban đầu e_0 lấy như sau:

- Với cấu kiện của kết cấu siêu tĩnh:

$$e_0 = \max(e_1 ; e_a) \qquad (1\text{-}9)$$

- Với cấu kiện tĩnh định, xác định e_0 theo công thức (1-8).

c) Tiêu chuẩn Pháp BAEL - 99 lấy $e_a = \max(l/250; 20\text{mm})$ và tính e_0 theo (1-8).

d) Tiêu chuẩn Anh BS 8110 quy định độ lệch tâm e_0 không nhỏ hơn độ lệch tâm tối thiểu bằng giá trị lớn hơn trong hai giá trị 1/20 chiều cao tiết diện và 20mm.

1.5.3. Ảnh hưởng của uốn dọc

Cột có độ mảnh lớn có thể bị uốn dọc làm cho nó bị cong (hình 1.19). Lúc này lực nén N gây ra thêm một mômen thứ cấp $M_2 = Ne_2$ với e_2 là chuyển vị tương đối của tiết diện đang xét so với vị trí đặt lực N.

Mômen uốn từ M tăng lên thành $M_t = M + M_2$. Việc tăng M như vậy là tương đương với việc tăng độ lệch tâm từ e_0 thành $e'_0 = e_0 + e_2$.

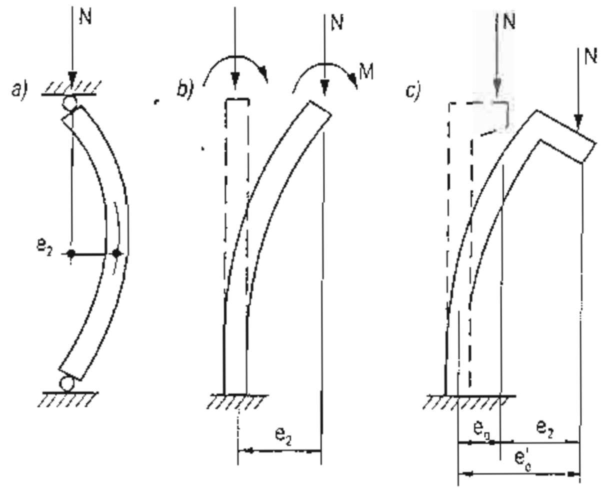
Tiêu chuẩn thiết kế của các nước xét việc tăng độ lệch tâm này theo các cách khác nhau.

a) Tiêu chuẩn của Pháp BAEL và của Anh BS 8110 đưa ra công thức thực nghiệm xác định e_2.

Tiêu chuẩn Pháp:

$$e_2 = 0,0003\frac{l_0^2}{h}\ (2 + \alpha_t \rho_t)$$

α_t và ρ_t là các hệ số kể đến ảnh hưởng của tác dụng dài hạn và từ biến của bêtông ($\alpha_t = 0,7 \div 1$; $\rho_t = 2 \div 1,5$)



Hình 1.19. Ảnh hưởng của uốn dọc

Tiêu chuẩn Anh: $e_2 = \dfrac{1}{2000}Kh\left(\dfrac{l_0}{c}\right)^2$

$k \leq 1$ hệ số phụ thuộc mức độ chịu nén của tiết diện.

c - cạnh bé của tiết diện.

b) Tiêu chuẩn của Nga, Trung Quốc, Việt Nam xét việc tăng độ lệch tâm theo hệ số nhân.

$$e'_0 = e_0 + e_2 = \left(1 + \frac{e_2}{e_0}\right)e_0 = \eta e_0 \qquad (1\text{-}10)$$

$\eta \geq 1$ - hệ số xét đến uốn dọc.

Trong lý thuyết ổn định đã chứng minh được công thức xác định η:

$$\eta = \frac{1}{1 - \dfrac{N}{N_{cr}}} \qquad (1\text{-}11)$$

N_{cr} - lực nén tới hạn. Cũng trong lý thuyết ổn định đã chứng minh công thức Ơle (Euler) đối với cấu kiện bằng vật liệu đàn hồi, đồng nhất:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EJ}{l_0^2} \qquad (1\text{-}12)$$

E - môđun đàn hồi của vật liệu;

J - mômen quán tính của tiết diện.

EJ - độ cứng chống uốn của tiết diện.

Để tính toán cấu kiện bêtông cốt thép người ta không dùng công thức (1-12) mà dùng các công thức thực nghiệm. Có khá nhiều công thức như vậy với các mức độ gần đúng khác nhau trong đó tính toán N_{cr} theo cường độ chịu nén R_b hoặc theo môđun đàn hồi E_b của bêtông, có kể hoặc không kể đến độ lệch tâm và sự có mặt của cốt thép.

Công thức theo cường độ chịu nén R_b.

$$N_{cr} = \frac{4800 R_b J}{l_0^2} = \frac{400 R_b A_b h^2}{l_0^2} \qquad (1\text{-}13)$$

$A_b = bh$ - diện tích tiết diện chữ nhật.

Công thức tính theo môđun đàn hồi E_b:

$$N_{cr} = \frac{2,5 E_b J}{l_0^2} \qquad (1\text{-}14)$$

Công thức tính theo R_b có kể độ lệch tâm và cốt thép:

$$N_{cr} = C_s R_b A_b \frac{h^2}{l_0^2} \qquad (1\text{-}15)$$

$$C_s = \frac{66000}{R + 350}\left(\frac{1}{\frac{e_0}{h} + 0,16} + 200\mu_s + 1\right)$$

Trong đó:

R - mác thiết kế của bêtông theo cường độ chịu nén trung bình (kG/cm^2);

μ_s - tỷ lệ cốt thép.

Công thức tính theo E_b có kể đến độ lệch tâm, cốt thép và tác dụng dài hạn của lực nén.

$$N_{cr} = \frac{6,4 E_b}{l_0^2}\left(J\frac{V_e}{K_d} + \alpha_s J_s\right) \qquad (1\text{-}16a)$$

V_e - hệ số kể đến độ lệch tâm:

$$V_e = \frac{0,11}{0,1 + \frac{e_0}{h}} + 0,1 \qquad (1\text{-}17a)$$

K_d - hệ số kể đến tác dụng dài hạn của lực nén:

$$K_d = 1 + \frac{M_{dh} + N_{dh}y}{M + Ny} \quad (1\text{-}17b)$$

y - khoảng cách từ trọng tâm tiết diện đến mép chịu kéo (hoặc chịu nén ít) của tiết diện.

M_{dh}, N_{dh} - phần nội lực do tải trọng dài hạn gây ra.

$\alpha_s = \frac{E_s}{E_b}$ với E_s là môđun đàn hồi của cốt thép.

J_s - mômen quán tính của tiết diện cốt thép.

Tiêu chuẩn TCXDVN 356 - 2005 cho công thức tính N_{cr} trên cơ sở của công thức (1-16a) với các hệ số chi tiết hơn.

$$N_{cr} = \frac{C_b E_b}{l_0^2}\left[\frac{J}{\varphi_l}\left(\frac{0,11}{0,1+\frac{\delta_e}{\varphi_p}} + 0,1\right) + \alpha_s J_s\right] \quad (1\text{-}16b)$$

Trong đó:

δ_e lấy bằng tỷ số $\frac{e_0}{h}$ nhưng không nhỏ hơn δ_{emin}

$$\delta_{emin} = 0,5 - 0,01\frac{l_0}{h} - 0,01R_b \quad (R_b : MPa)$$

φ_p- hệ số xét đến ảnh hưởng của cốt thép ứng lực trước đến độ cứng của cấu kiện. ($\varphi_p \geq 1$ - khi không có cốt thép ứng lực trước $\varphi_p = 1$).

C_b - hệ số. Với bêtông nặng và bêtông hạt nhỏ nhóm A lấy $C_b = 6,4$.

Với bêtông hạt nhỏ nhóm B lấy $C_b = 5,6$.

φ_l - hệ số, xác định theo công thức:

$$\varphi_l = 1 + \beta\frac{M_l}{M}$$

β- hệ số, với bêtông nặng β = 1; bêtông hạt nhỏ nhóm A: β = 1,3; nhóm B: β = 1,5.

M - mômen lấy đối với mép tiết diện chịu kéo hoặc chịu nén ít hơn do tác dụng của toàn bộ tải trọng.

M_l - Như trên, do tải trọng thường xuyên và tải trọng tạm thời dài hạn.

Tiêu chuẩn của Trung Quốc GBJ10 - 98 tuy cũng xét sự tăng độ lệch tâm bằng hệ số nhân η nhưng không dùng công thức (1-11) mà xác định η bằng công thức thực nghiệm:

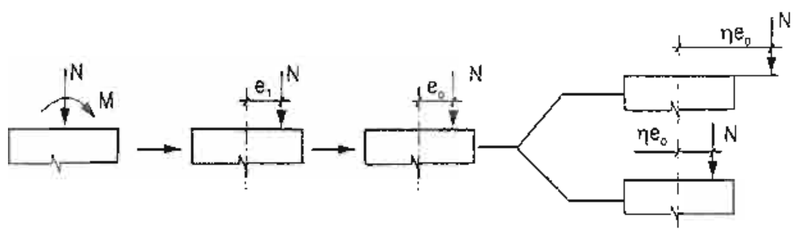
$$\eta = 1 + \frac{1}{1400\frac{e_1}{h_0}}\left(\frac{l_0}{h}\right)^2 \zeta_1\zeta_2$$

$$\zeta_1 = \frac{0,5R_bA_b}{N}; \zeta_2 = 1,15 - 0,01\frac{l_0}{h}$$

A_b- diện tích tiết diện.

Với những cột ngắn, có độ mảnh bé, $\lambda = \frac{l_0}{i} \leq 14$, có thể bỏ qua ảnh hưởng của uốn dọc, lấy $e_2 = 0$ hoặc $\eta = 1$.

Quá trình xét sự tăng độ lệch tâm thể hiện trên hình 1.20.



Hình 1.20. Sự tăng độ lệch tâm

Giá trị η tính theo công thức (1-11) là đối với tiết diện có chuyển vị lớn nhất.

Tùy theo vị trí tiết diện tính toán mà có thể lấy giá trị η tương ứng.

Trên hình 1.19a giá trị e_2 lớn nhất ở giữa cột còn trên hình 1.19b, c có e_2 lớn nhất ở chân cột, tại đỉnh cột $e_2 = 0$ tương ứng với $\eta = 1$.

Trong tính toán thực tế, để thiên về an toàn có thể xem gần đúng η là hằng số trong toàn cột. Tuy vậy nếu muốn tính toán chính xác hơn thì cần dựa vào sơ đồ biến dạng bất lợi của cột để lấy giá trị η ứng với từng tiết diện.

Sau khi kể đến độ lệch tâm ngẫu nhiên e_a và ảnh hưởng của uốn dọc η thì mômen uốn đã từ giá trị ban đầu là M tăng lên thành M*

$$M^* = N\,\eta e_0 \qquad (1\text{-}18)$$

1.6. SỰ LÀM VIỆC CỦA TIẾT DIỆN CỘT

1.6.1. Điều kiện về độ bền

Tính toán tiết diện cột theo *phương pháp trạng thái giới hạn*. Điều kiện cơ bản đảm bảo độ bền khi tính theo trạng thái giới hạn về khả năng chịu lực là:

$$N = N_{gh} \quad (1\text{-}19)$$

$$M_u \leq M_{gh} \quad (1\text{-}20)$$

N - lực nén được xác định theo tổ hợp nội lực.

N_{gh} - khả năng chịu nén của tiết diện.

$M_u = Ne_u$. Mômen uốn do lực nén N đặt lệch tâm gây ra đối với trục U (không nằm trong mặt phẳng uốn).

e_u- khoảng cách từ điểm đặt lực lệch tâm N đến trục U đã chọn ($e_u > 0$).

M_{gh}- khả năng chịu uốn của tiết diện lấy đối với trục U đã chọn.

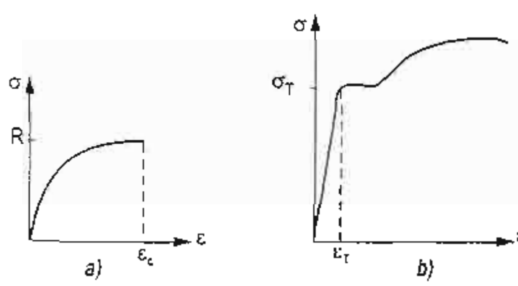
Xác định N_{gh}, M_{gh} dựa vào sự làm việc ở trạng thái giới hạn về khả năng chịu lực. Trạng thái này được thiết lập trên cơ sở phân tích các kết quả nghiên cứu thực nghiệm, dựa trên các quy luật chi phối sự làm việc và các giả thiết được đề xuất. Từ đó lập ra các biểu thức toán học để tính toán.

Trong bài toán tính cốt thép hoặc bài toán kiểm tra cần thỏa mãn cả hai điều kiện nêu trên trong đó có thể lấy một điều kiện theo dấu đẳng thức (=) còn điều kiện kia theo dấu quy định (≤). Trường hợp nén đúng tâm chỉ cần một điều kiện (1-19) trong đó $N_{gh} = N_0$ tính theo công thức (1-6).

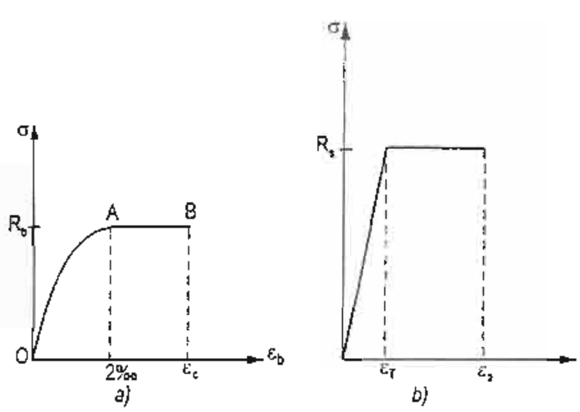
1.6.2. Các kết quả thực nghiệm

1.6.2.1. Quan hệ ứng suất biến dạng

Kết quả quan trọng nhất của thực nghiệm là quan hệ giữa ứng suất σ và biến dạng tỷ đối ε của vật liệu được giới thiệu trên hình 1.21.



Hình 1.21. *Quan hệ giữa ứng suất σ - ε của vật liệu: a) Bêtông; b) Cốt thép dẻo.*



Hình 1.22. *Quan hệ σ - ε dùng trong tính toán: a) Bêtông; b) Cốt thép.*

Để dùng vào tính toán, các quan hệ trên đã được đơn giản hóa và sau khi đã đưa vào các hệ số để xét đến độ an toàn (độ tin cậy) thì biểu đồ ứng suất biến dạng được lấy theo hình 1.22, trong đó:

R_b, R_s - cường độ tính toán của bêtông (về nén) và của cốt thép (về kéo);

ε_c, ε_a - biến dạng của bêtông và cốt thép ở trạng thái giới hạn;

$\varepsilon_T = \frac{R_s}{E_s}$ - giới hạn biến dạng đàn hồi của cốt thép, trong đó E_s là môđun đàn hồi.

Với bêtông, khi chịu nén đúng tâm người ta cho rằng không nên để cho bêtông có biến dạng quá 2‰ và như vậy lấy ε_c = 2‰.. Khi trên tiết diện có một vùng chịu kéo một vùng chịu nén, khả năng biến dạng của bêtông ở mép chịu nén tăng lên, tiêu chuẩn của Pháp lấy ε_c = 3,5‰, còn tiêu chuẩn của Mỹ lấy ε_c = 3‰.

Với cốt thép, biến dạng của cốt thép dẻo khi bị kéo đứt là khá lớn (0,1÷0,2). Tuy vậy khi xét sự làm việc của kết cấu bêtông cốt thép ở trạng thái giới hạn một số tiêu chuẩn có quy định hạn chế giá trị của ε_a trong khoảng 10‰.

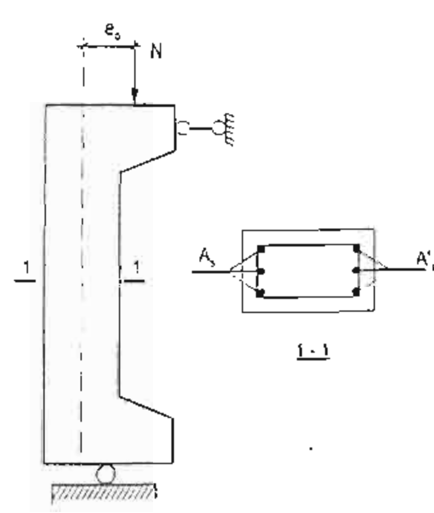
1.6.2.2. Sự làm việc của cấu kiện

Thực nghiệm về sự làm việc của cấu kiện chịu nén lệch tâm được tiến hành theo sơ đồ trên hình 1.23 với lực nén N đặt cách trục một đoạn e_0. Làm thí nghiệm với các độ lệch tâm e_0 khác nhau và trong mỗi lần thí nghiệm tăng dần lực N cho đến khi cấu kiện bị phá hoại.

Kết quả thực nghiệm cho biết với e_0 bé toàn bộ tiết diện chịu nén và sự phá hoại bắt đầu từ bêtông ở mép chịu nén nhiều hơn. Với e_0 lớn, một phần tiết diện chịu nén, phần còn lại chịu kéo, bêtông chịu kéo có thể bị nứt, sự phá hoại có thể bắt đầu từ vùng bêtông chịu nén hoặc từ cốt thép chịu kéo.

Có hai quan điểm về phá hoại: ứng suất và biến dạng.

Quan điểm về ứng suất cho rằng vật liệu sẽ bị phá hoại khi ứng suất trong nó đạt và vượt cường độ vật liệu. Theo quan điểm này biểu đồ ứng suất dùng



Hình 1.23. Sơ đồ thực nghiệm cấu kiện nén lệch tâm

cho tính toán được thiết lập từ kết quả thực nghiệm và không cần quan tâm đến các giá trị ε_c, ε_a.

Quan điểm về biến dạng cho rằng sự phá hoại được quyết định bởi biến dạng của vật liệu. Theo quan điểm này xuất phát để lập sơ đồ tính toán là biến dạng. Từ sơ đồ biến dạng, dùng các quan hệ ở hình 1.22 để suy ra sơ đồ ứng suất và dùng sơ đồ ứng suất để lập công thức.

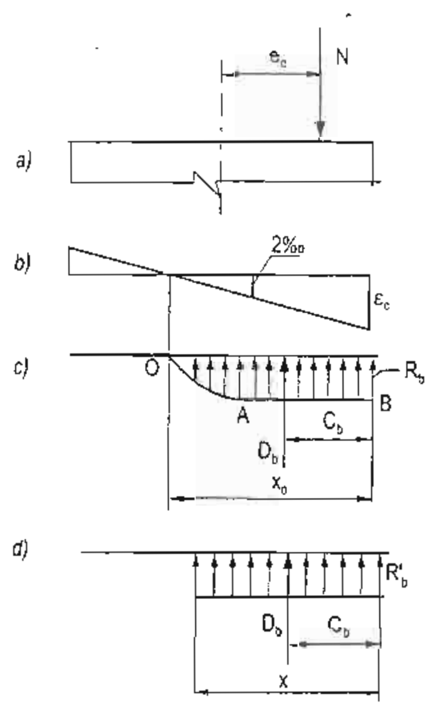
1.6.3. Giả thiết tính toán

Để lập các công thức tính toán tiết diện bêtông cốt thép người ta dùng quy luật về cân bằng lực, ngoài ra để đơn giản hóa công việc tính toán người ta còn dùng giả thiết bỏ qua sự làm việc của bêtông chịu kéo. Riêng với quan điểm về biến dạng còn dùng thêm giả thiết tiết diện phẳng và giả thiết bêtông, cốt thép có cùng biến dạng (tại mỗi vị trí).

1.6.4. Sơ đồ ứng suất bêtông vùng nén

Tuy xuất phát của hai quan điểm có khác nhau nhưng sơ đồ ứng suất trong bêtông vùng nén được lấy giống nhau và đó là một đường cong như trên hình 1.23c. Đường cong đó có dạng của đường cong trên hình 1.21 hoặc 1.22. Cần chú ý rằng hình 1.22 thể hiện quan hệ σ-ε theo hai trục vuông góc còn hình 1.24b và 1.24c thể hiện quan hệ σ - ε theo hai trục song song. Trục trung hòa cách mép chịu nén một đoạn x_0, tại đó có $\varepsilon = 0$ và $\sigma = 0$, trong đoạn $\varepsilon < 2‰$, quan hệ σ- ε là đường cong, trong đoạn $\varepsilon > 2‰$, có σ là hằng số, bằng R_b (đoạn AB trên biểu đồ).

Nhằm đơn giản hóa việc tính toán người ta đã thay biểu đồ có một đoạn cong OA và một đoạn thẳng AB trên hình 1.23c với chiều cao vùng nén thực x_0 bằng biểu đồ hình chữ nhật với chiều cao vùng nén tính đổi x và ứng suất tính đổi R'_b. Xác định x và R'_b dựa vào hai điều kiện: giá trị của hợp lực D_b và điểm đặt của D_b trong hai biểu đồ là trùng nhau. Trường hợp tiết diện chữ nhật bề rộng b thì hai phương trình để xác định x và R'_b



Hình 1.24. Ứng suất trong bêtông vùng nén: a) Sơ đồ nội lực; b) Biểu đồ biến dạng; c) Biểu đồ ứng suất thực; d) Biểu đồ đơn giản hóa.

là: $D_b = R'_b bx$ và $c_b = \frac{x}{2}$ (xem hình 1.24) trong đó D_b và C_b đã được xác định theo R_b và x_0. Trong trường hợp chung có thể biểu diễn x theo x_0 và R'_b theo R_b như sau:

$$x = \theta x_0 \text{ và } R'_b = \beta_b R_b \qquad (1\text{-}21)$$

Giá trị của θ và β_b phụ thuộc hình dạng vùng bêtông chịu nén và ε_c. Với tiết diện chữ nhật có thể lấy $\beta_b = 1$ và $\theta = 0{,}8 \div 0{,}85$ khi $\varepsilon_c = 3‰ \div 3{,}5‰$. Với tiết diện chữ T có cánh trong vùng nén lấy $\beta_b = 1$ và $\theta = 0{,}82 \div 0{,}88$ với tiết diện tròn $\beta_b = 0{,}9 \div 0{,}95$ và $\theta = 0{,}8 \div 0{,}85$.

Giá trị θ như vừa nêu dùng ở công thức (1-21) chỉ đúng khi $x_0 \leq h$. Trường hợp nén lệch tâm mà toàn bộ tiết diện chịu nén thì trục trung hòa nằm ngoài tiết diện, $x_0 > h$ và x_0 có thể tăng đến vô cùng trong lúc giới hạn của x chỉ có thể đạt đến tối đa là bằng h. Khi mà $x_0 > h$ và $\theta = 0{,}85$ có thể dùng tương qua giữa x và x_0 theo biểu thức (1-22) sau đây:

$$x = \frac{(x_0 - 0{,}85h)h}{x_0 - 0{,}8235h} \qquad (1\text{-}22)$$

1.6.5. Ứng suất trong cốt thép

1.6.5.1. Theo quan điểm ứng suất

Với trường hợp cốt thép được đặt tập trung trên các cạnh vuông góc với mặt phẳng uốn là A_s (chịu kéo hoặc nén ít hơn) và A'_s (chịu nén nhiều hơn) thì các ứng suất tương ứng là σ_s và σ'_s được lấy theo kết qủa thực nghiệm như sau (hình 1.25).

a) Với cốt thép A_s. Khi A_s chịu kéo, σ_s đạt giá trị lớn khi cốt thép đặt xa trục trung hòa và ngược lại. Khoảng cách từ A_s đến trục trung hòa là $v_a = h_0 - x_0 = h_0 - \frac{x}{\theta}$. Giá trị lớn nhất mà σ_s có thể đạt đến theo quy ước tính toán là R_s. Để đạt được điều này thì v_a phải lớn hơn một phần nào đó của h_0, tạm đặt là $\alpha_1 h_0$.

$$v_a = h_0 - \frac{x}{\theta} \geq \alpha_1 h_0 \text{ rút ra } x \leq (1 - \alpha_1)\theta h_0 = \xi_R h_0$$

Vậy điều kiện để σ_s đạt đến R_s là:

$$x \leq \xi_R h_0$$

Người ta xác định giá trị ξ_R bằng thực nghiệm, thấy rằng ξ_R phụ thuộc vào R_s và R_b. Đã có những công thức thực nghiệm để tính toán ξ_R nhưng thường có thể tra bảng ở phụ lục 4.

Khi $x > \xi_R h_0$ thì σ_s chịu kéo chưa đạt R_s hoặc khi x tăng đến một mức nào đó thì σ_s chuyển thành chịu nén. Tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 đưa ra công thức thực nghiệm xác định σ_s:

$$\sigma_s = \left(2\frac{1 - x/h_0}{1 - \xi_R} - 1\right)R_s \qquad (1\text{-}23)$$

Công thức (1-23) được dùng cho bêtông có cấp bằng hoặc nhỏ hơn B30, cốt thép nhóm CI, AI, CII, AII, CIII, AIII. ($R_s \le 400$) và chấp nhận được khi $x \le h_0$ còn khi $x > h_0$ thì lấy $\sigma_s = -R_s$. Công thức (1-23a) do tác giả đề xuất cho kết quả dùng được khi $\xi_R h_0 \le x \le h$ và $R_s \le 400$.

$$\sigma_s = \left[1 - \frac{2(x - \xi_R h_0)}{h - \xi_R h_0}\right]R_s \qquad (1\text{-}23a)$$

Trong hai công thức trên tính được $\sigma_s > 0$ là ứng suất kéo còn $\sigma_s < 0$ là ứng suất nén.

b) Với cốt thép A'_s. Với cột chịu nét lệch tâm cốt thép A'_s luôn luôn là chịu nén. Ứng suất trong A'_s là σ'_s sẽ lớn khi khoảng cách từ A'_s đến trục trung hòa là $v'_a = x_0 - a'$ khá lớn và ngược lại. Giá trị lớn nhất mà σ'_s có thể đạt tới là R_{sc}. Để đạt được điều này thì v'_a phải lớn hơn một số lần nào đấy của a', được đặt là $\gamma_1 a'$:

$$v'_a = x_0 - a' = \frac{x}{\theta} - a' \ge \gamma_1 a'$$

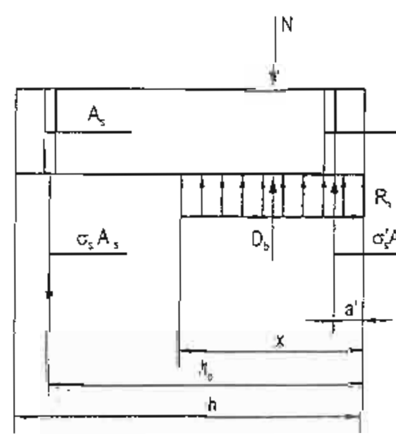
Rút ra: $$x \ge (1 + \gamma_1)\theta a' = \delta_1 a'$$

Phân tích kết quả thực nghiệm thấy rằng δ_1 phụ thuộc vào R_{sc} và thay đổi trong khoảng 1,5÷2 (δ_1 tăng lên khi R_{sc} tăng). Để đơn giản hóa, chấp nhận giá trị $\delta_1 = 2$ cho mọi loại cốt thép (với $R_{sc} \le 400$MPa).

Như vậy điều kiện để σ'_s đạt đến R_{sc} là:

$$x \ge 2a'$$

Khi $x < 2a'$ xem là σ'_s chưa đạt đến R'_s: Điều kiện $x \ge 2a'$ được lấy theo tiêu chuẩn TCVN 5574 - 1991. Tiêu chuẩn TCXDVN 356 - 2005 không đưa ra điều kiện cho σ'_s. Trong tài liệu này tác giả vẫn giữ lại điều kiện $x \ge 2a'$ như là một điều kiện để phân biệt các trường hợp tính toán. Việc này chỉ có lợi là làm rõ ràng hơn sự làm việc của tiết diện và cách tính toán.



Hình 1.25. Ứng suất trong cốt thép σ_s, σ'_s

Với cốt thép có $R_s \le 400MPa$ lấy $R_{sc} = R_s$.

Với cốt thép có R_s cao hơn 400MPa thì trong một số tiêu chuẩn thiết kế cũng chỉ lấy $R_{sc} \le 400MPa$. Lý do là khi chịu nén đúng tâm lấy biến dạng giới hạn của bêtông ε_c = 2‰ và biến dạng của cốt thép chịu nén tối đa cũng bằng khoảng ấy. Với biến dạng đó ứng suất trong cốt thép (có cường độ khá cao) không vượt qua giá trị.

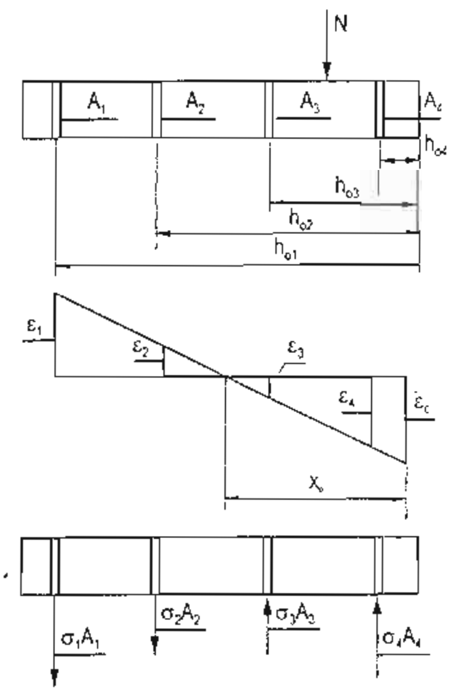
$$\sigma'_c = \varepsilon_c E_s = 0{,}002 \times 200.000 = 400MPA$$

(Lấy môđun đàn hồi của thép E_s = 200.000MPa).

Với cốt thép cường độ khá cao (AV, AVI, AVIII) TCXDVN 356 - 2005 cho phép lấy R_{sc} = 500MPa trong một số trường hợp đặc biệt.

1.6.5.2. Theo quan điểm biến dạng

Xuất phát từ biến dạng của bêtông tại mép vùng nén đã được quy định, dùng giả thiết tiết diện phẳng, khi biết vị trí trục trung hòa (biết x_0) và vị trí của thanh hoặc hàng cốt thép thứ i (h_{0i}) sẽ tính ra được biến dạng của nó là ε_i (hình 1.26).



Hình 1.26. Ứng suất trong cốt thép σ_i được tính theo biến dạng ε_i.

$$\varepsilon_i = \frac{h_{0i} - x_0}{x_0}\varepsilon_c \qquad (1\text{-}24)$$

Khi:

$$|\varepsilon_i| \ge \varepsilon_T \text{ thì } \sigma_i = R_s \qquad (1\text{-}25a)$$

$$|\varepsilon_i| < \varepsilon_T \text{ thì } \sigma_i = \varepsilon_i E_s \qquad (1\text{-}25b)$$

Trong đó: $\varepsilon_T = \dfrac{R_s}{E_s}$

Khi tính được $\varepsilon_i > 0$, σ_i là ứng suất kéo, khi $\varepsilon_i < 0$ có ứng suất nén.

Theo quan điểm biến dạng, để cho σ_i chịu kéo đạt giá trị R_s thì:

$$\varepsilon_i = \frac{h_{oi} - x_0}{x_0}\varepsilon_c \geq \varepsilon_T = \frac{R_s}{E_s}$$

Rút ra: $x_0 \leq \xi_T\ h_{oi}$ (1-26a)

$$\xi_T = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c + \dfrac{R_s}{E_s}} \quad (1\text{-}26b)$$

Với $x = \theta x_0$ thì điều kiện để σ_i đạt R_s là:

$$x \leq \beta_i\ h_{oi} \quad (1\text{-}27a)$$

$$\beta_i = \theta\xi_T \quad (1\text{-}27b)$$

Điều kiện (1-27a) là tương tự điều kiện $x_0 \leq \xi_R\ h_0$ đã trình bày trong mục 1.6.5.1. với $h_{o1} = h_0$ (xem hình 1.25, 1.26).

Với cốt thép chịu nén, để cho ứng suất σ_i đạt giá trị cường độ tính toán về nén R_{sc} thì:

$$|\varepsilon_i| = -\varepsilon_i = \frac{x_0 - h_{oi}}{x_0}\varepsilon_c \geq \varepsilon_T = \frac{R_{sc}}{E_s}$$

Rút ra: $x_0 \geq \dfrac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c - \dfrac{R_{sc}}{E_s}} h_{oi}$

và: $x \geq \delta_2\ h_{oi}$ (1-28a)

$$\delta_2 = \frac{\theta\varepsilon_c}{\varepsilon_c - \dfrac{R_{sc}}{E_s}} \quad (1\text{-}28b)$$

Điều kiện (1-28a) là tương tự điều kiện $x \geq 2a'$ trong mục 1.6.5.1 (hình 1.26 và 1.25 cho thấy $h_{o4} = a'$).

1.6.6. Các trường hợp tính toán

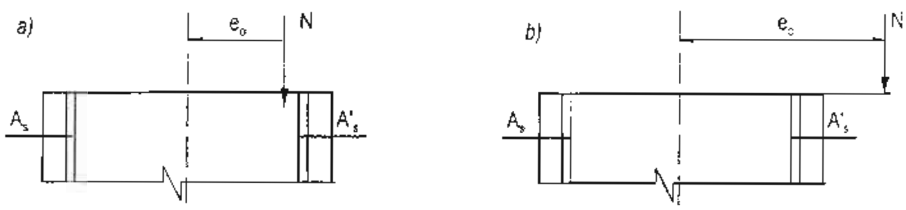
Từ phân tích sự làm việc của tiết diện chịu nén lệch tâm người ta đưa ra các trường hợp tính toán. Trong việc này cũng có các quan điểm khác nhau.

Một số nước Âu Mỹ phân chia ra hai trường hợp dựa vào vùng chịu nén: Tiết diện chịu nén toàn bộ và tiết diện chịu nén một phần.

Tiêu chuẩn thiết kế của Nga, Trung Quốc, Việt Nam phân chia ra hai trường hợp nén lệch tâm lớn và nén lệch tâm bé dựa vào sự làm việc của cốt thép A_s, cũng tức là dựa vào giá trị của chiều cao vùng nén x. Khi $x < \xi_R h_0$ cốt thép A_s chịu kéo, ứng suất σ_s đạt đến R_s, xẩy ra sự phá hoại dẻo, có trường hợp nén lệch tâm lớn. Khi $x \geq \xi_R h_0$ cốt thép A_s có thể chịu kéo hoặc nén mà ứng suất trong nó chưa đạt đến R_s hoặc R_{sc}, sự phá hoại bắt đầu từ bêtông vùng nén, có trường hợp nén lệch tâm bé. Tiết diện làm việc theo trường hợp nào là phụ thuộc vào tương quan giữa M, N với kích thước tiết diện và sự bố trí cốt thép. Khi M tương đối lớn tiết diện làm việc gần với trường hợp chịu uốn, có vùng nén và vùng kéo rõ rệt. Nếu cốt thép chịu kéo A_s không quá lớn thì sự phá hoại sẽ bắt đầu từ vùng kéo, có trường hợp nén lệch tâm lớn.

Khi N tương đối lớn, phần lớn tiết diện chịu nén, sự phá hoại bắt đầu từ bêtông phía bị nén nhiều, có trường hợp nén lệch tâm bé.

Cần lưu ý rằng trong tính toán thực hành điều kiện để phân biệt các trường hợp nén lệch tâm chỉ là tương đối. Có một số trường hợp, với tiết diện và điểm đặt lực N đã cho, khi thay đổi cốt thép có thể chuyển sự làm việc của tiết diện từ nén lệch tâm lớn sang nén lệch tâm bé và ngược lại. Khi chuyển như vậy thì giá trị lực dọc giới hạn mà tiết diện chịu được N_{gh} thay đổi theo.



Hình 1.27. Thí dụ về các trường hợp nén lệch tâm

Lấy thí dụ như trên hình 1.27.

Ở hình 1.27a, độ lệch tâm của lực dọc e_0 tương đối bé, thường là trường hợp nén lệch tâm bé với khả năng chịu lực N_1. Nếu giảm cốt thép A_s tiết diện có thể chuyển sang làm việc theo nén lệch tâm lớn với khả năng $N_2 < N_1$.

Ở hình 1.27b, độ lệch tâm e_0 tương đối lớn, thường tiết diện làm việc theo nén lệch tâm lớn. Tuy vậy nếu tăng cốt thép A_s thì đến một lúc nào đó tiết diện sẽ chuyển sang làm việc theo nén lệch tâm bé (vì ứng suất σ_s trong A_s giảm xuống khi A_s tăng) và lực dọc N tiết diện chịu được sẽ cao hơn.

Việc phân biệt trường hợp nén lệch tâm lớn hay bé chủ yếu dựa vào giá trị chiều cao vùng nén x, chỉ khi không có cách nào để xác định được x thì mới dùng điều kiện bổ trợ, căn cứ vào độ lệch tâm e_0.

Chương 2

TIẾT DIỆN CHỮ NHẬT CHỊU NÉN LỆCH TÂM PHẲNG

2.1. SƠ ĐỒ VÀ CÔNG THỨC CƠ BẢN

2.1.1. Sơ đồ và ký hiệu

Xét tiết diện chữ nhật có các cạnh b, h.

h - chiều cao tiết diện, là cạnh song song với mặt phẳng uốn.

b- bề rộng, là cạnh vuông góc mặt phẳng uốn.

Trong những trường hợp thông thường cốt thép dọc chịu lực được đặt tập trung theo cạnh b và ký hiệu là A_s, A'_s.

A'_s - diện tích tiết diện cốt thép ở phía gần với lực dọc đặt lệch tâm N, trong vùng bị nén nhiều.

A_s - diện tích tiết diện cốt thép ở phía đối diện với A'_s, cốt thép A_s có thể bị kéo hoặc nén ít.

a, a' khoảng cách từ trọng tâm A_s, A'_s đến mép tiết diện gần nhất.

$h_0 = h - a$ - chiều cao làm việc của tiết diện.

$Z_a = h_0 - a'$ - khoảng cách giữa trọng tâm A_s và A'_s.

x - chiều cao vùng nén tính đổi, gọi tắt là chiều cao vùng nén;

R_b - cường độ tính toán về nén của bêtông. Giá trị R_b được lấy theo phụ lục 2 nhân với hệ số điều kiện làm việc γ_b cho ở phụ lục 1.

σ_s, σ'_s - ứng suất trong cốt thép A_s và A'_s.

R_s, R_{sc} - cường độ tính toán về kéo và nén của cốt thép, lấy theo phụ lục 3.

ξ_R - hệ số tính toán giới hạn vùng nén, lấy theo phụ lục 4.

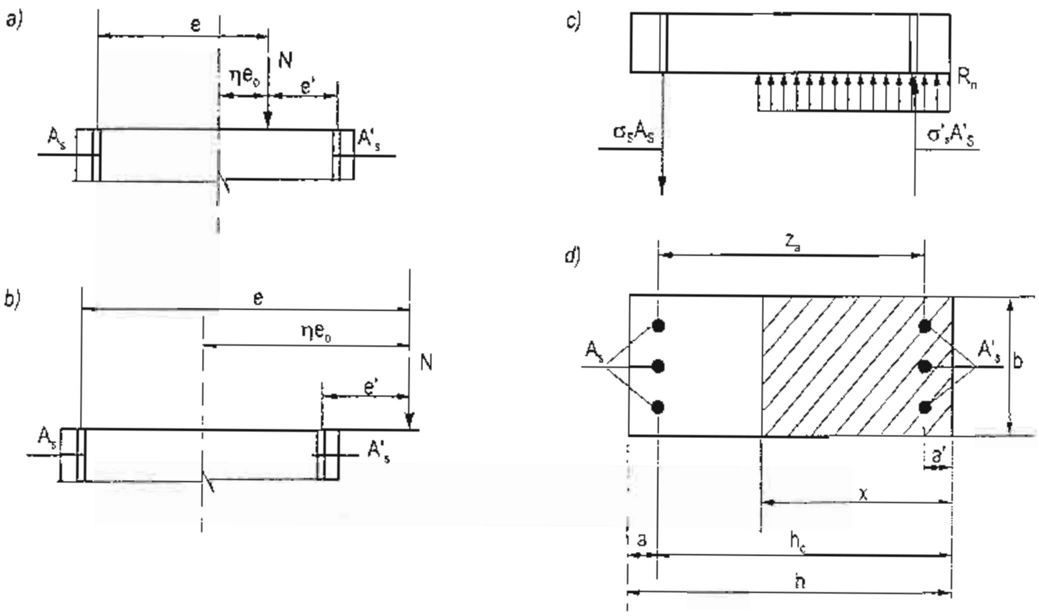
Sơ đồ lực tác dụng thể hiện trên hình 2.1a và 2.1b, với trục U để lấy mômen là trục đi qua trọng tâm của A_s hoặc A'_s. Như vậy giá trị e_u được lấy bằng e hoặc e' (xem công thức 1-20).

e- khoảng cách từ điểm đặt lực dọc N đến trọng tâm cốt thép A_s.

$$e = \eta e_0 + 0,5h - a \qquad (2\text{-}1)$$

$\eta \geq 1$ - hệ số xét đến ảnh hưởng uốn dọc, xác định theo công thức (1-11). Với tiết diện chữ nhật khi $\lambda_h = \frac{l_0}{h} \leq 8$ có thể bỏ qua uốn dọc, $\eta = 1$.

e' - khoảng cách từ điểm đặt lực N đến trọng tâm A'_s. Tùy trường hợp điểm đặt N ở khoảng giữa hay ở bên ngoài A_s A'_s mà có cách tính khác nhau.



Hình 2.1. Sơ đồ tính toán
a, b - sơ đồ lực tác dụng; c - sơ đồ ứng suất; d- tiết diện

2.1.2. Điều kiện và công thức cơ bản

Điều kiện về độ bền là các điều kiện (1-1a) và (1-20) trong đó trục cơ bản để lấy mômen đi qua trọng tâm cốt thép A_s và như vậy $M_u = Ne$, điều kiện (1-20) được viết thành:

$$Ne \leq M_{1gh} \qquad (2\text{-}2)$$

Trong một số trường hợp đặc biệt trục lấy mômen được cho đi qua trọng tâm A'_s và điều kiện sẽ là:

$$Ne' \leq M_{2gh} \qquad (2\text{-}3)$$

M_{1gh} - mômen giới hạn thể hiện khả năng chịu lực của tiết diện lấy đối với trục đi qua trọng tâm cốt thép A_s.

$$M_{1gh} = R_b bx\left(h_0 - \frac{x}{2}\right) + \sigma'_s A'_s Z_a \qquad (2\text{-}4)$$

M_{2gh} - mômen khả năng chịu lực của tiết diện lấy đối với trục đi qua trọng tâm A'_s (tùy trường hợp tính toán sẽ lập công thức sau).

Khả năng chịu nén của tiết diện N_{gh} được xác định bằng tổng hình chiếu các lực:

$$N_{gh} = R_b bx + \sigma'_s A'_s - \sigma_s A_s \tag{2-5}$$

Trong công thức (2-4) và (2-5) tính toán với giá trị tuyệt đối của σ_s và σ'_s theo chiều đã ghi trên hình 2.1c. Nếu σ_s là nén thì ở công thức (2-5) lấy dấu cộng trước $\sigma_s A_s$. Trường hợp σ_s được tính theo công thức với dấu đại số, quy ước ứng suất kéo là dương thì vẫn giữ nguyên dấu của công thức (2-5) vì lúc σ_s là nén sẽ mang dấu âm. Giá trị của σ'_s và σ_s lấy theo mục 1.6.5, cụ thể là:

Khi : $x \geq 2a'$ thì $\sigma'_s = R_{sc}$ (2-6a)

Khi : $x < \xi_R h_0$ thì $\sigma_s = R_s$ (2-6b)

Như vậy điều kiện để dùng hết khả năng chịu lực của cốt thép là:

$$2a' \leq x < \xi_R h_0 \tag{2-6c}$$

Tính toán cốt thép hoặc kiểm tra khả năng chịu lực thường được tiến hành theo điều kiện (2-2) với M_{1gh} theo (2-4) trong đó x được xác định từ điều kiện $N = N_{gh}$. Với giả thiết là điều kiện (2-6c) được thỏa mãn thì có phương trình (2-7a):

$$N = N_{gh} = R_b bx + R_{sc} A'_s - R_s A_s \tag{2-7a}$$

Khi xảy ra $x > \xi_R h_0$, gặp trường hợp nén lệch tâm bé (mặc nhiên công nhận $x > 2a'$ do đó $\sigma'_s = R_{sc}$), để xác định x cần giải đồng thời hai phương trình. Phương trình thứ nhất là điều kiện cân bằng lực nén:

$$N = N_{gh} = R_n bx + R_{sc} A'_s - \sigma_s A_s \tag{2-7b}$$

Phương trình thứ hai là quan hệ giữa ứng suất σ_s và chiều cao vùng nén x, lấy theo một trong các công thức (1-23) hoặc (1-25).

Cần chú ý là chỉ có thể giải hệ hai phương trình vừa nêu khi đã biết cốt thép A_s, A'_s (bài toán kiểm tra) hoặc biết quan hệ giữa A_s và A'_s (tính toán cốt thép đối xứng). Khi chưa biết A_s và A'_s (bài toán tính cốt thép không đối xứng) có thể xác định x bằng công thức thực nghiệm, gần đúng.

Tiêu chuẩn thiết kế TCVN 5574 -1991 có đưa ra các công thức sau:

Khi $e_0 < 0{,}2h_0$, tính x theo công thức (2.8a):

$$x = h - \left(1,8 + \frac{0,5h}{h_0} - 1,4\xi_R\right)e_0 \quad (2\text{-}8a)$$

Khi $0,2h < e_0 \le e_{op}$, tính x theo (2-8b):

$$x = 1,8\,(e_{op} - e_0) + \xi_R h_0 \quad (2\text{-}8b)$$

Trong đó: $e_{op} = 0,4\,(1,25h - \xi_R h_0)$ (2-9)

Khi $e_0 > e_{op}$ lấy $x = \xi_R h_0$ (2-8c)

Ngoài các công thức (2-8) cũng còn có một số công thức khác:

$$x = \left(\xi_R + \frac{1-\xi_R}{1+50\varepsilon_0^2}\right)h_0 \quad (2\text{-}10)$$

$$x = \left[\xi_R + (1-3\varepsilon_0)(1-\xi_R)\right]h_0 \quad (2\text{-}11)$$

Trong hai công thức trên thì $\varepsilon_0 = \frac{e_0}{h}$. Công thức (2-10) dùng cho mọi ε_0 còn công thức (2-11) chỉ dùng được khi $\varepsilon_0 \le \frac{1}{3}$, khi $\varepsilon_0 > \frac{1}{3}$ thì lấy $x = \xi_R h_0$.

Cần chú ý rằng giá trị gần đúng của x xác định theo các công thức (2-8a) đến (2-11) chỉ được đem dùng để tính M_{1gh} theo (2-4) mà không dùng để xác định giá trị σ_s theo các công thức (1-23) hoặc (1-25).

Khi xẩy ra x < 2a' dùng điều kiện (2-3) để tính toán sẽ thuận lợi hơn (x < 2a' mặc nhiên công nhận $x < \xi_R h_0$ do đó $\sigma_s = R_s$). Tính M_{2gh}:

$$M_{2gh} = R_s A_s Z_a + R_b bx\left(a' - \frac{x}{2}\right) \quad (2\text{-}12a)$$

Nhận xét rằng thành phần thứ hai trong công thức là khá bé; và nếu bỏ qua thì việc tính toán thiên về an toàn hơn, vì vậy thường người ta bỏ qua để tính toán đơn giản.

$$M_{2gh} = R_s A_s Z_a \quad (2\text{-}12b)$$

Gặp trường hợp a' khá lớn, việc bỏ qua thành phần thứ hai ở công thức (2-12a) dẫn đến việc giảm đáng kể M_{2gh} hoặc tăng đáng kể cốt thép A_s thì trong tính toán có thể bỏ qua cốt thép A'_s hoặc kể thêm thành phần thứ hai.

Ghi chú quan trọng: Các biểu thức đã lập để xác định M_{1gh}; M_{2gh} và N_{gh} chỉ có giá trị (được chấp nhận là đúng) khi diện tích cốt thép A_s, A'_s đều dương. Khi dùng các công thức đã lập mà tính được cốt thép âm thì chỉ có thể kết luận là không cần đến cốt thép theo tính toán (đặt thép theo cấu tạo) còn các kết quả tính toán (trung gian hoặc cuối cùng) là không phản ánh đúng thực tế.

2.2. TÍNH TOÁN CỐT THÉP ĐỐI XỨNG

Biết kích thước tiết diện b, h, chiều dài tính toán l_0, nội lực M, N, chủng loại vật liệu. Yêu cầu tính toán cốt thép đối xứng $A_s = A'_s$.

2.2.1. Chuẩn bị số liệu

- Xác định cường độ tính toán chịu nén của bêtông R_b theo phụ lục 2 và khi cần thì kể thêm điều kiện làm việc γ_b theo phụ lục 1. Xác định môdun đàn hồi E_b.

- Tìm cường độ tính toán R_s; R_{sc} của cốt thép theo phụ lục 3.

- Tìm hệ số ξ_R theo phụ lục 4.

- Giả thiết các đại lượng a, a' để tính $h_0 = h - a$; $Z_a = h_0 - a'$.

- Xét ảnh hưởng của uốn dọc, khi $\frac{l_0}{h} \leq 4$ lấy $\eta = 1$, khi $\frac{l_0}{h} > 4$ cần tính N_{cr} và η theo chỉ dẫn ở mục 1.5.2. Trường hợp tính toán N_{cr} theo (1-16) thì còn cần phải biết các giá trị M_{dh}, N_{dh} để xác định hệ số φ_l và giả thiết diện tích cốt thép hoặc tỷ lệ cốt thép để tính J_s. Trong tính toán thực tế có thể bỏ qua ảnh hưởng uốn dọc khi $\frac{l_0}{h} \leq 8$.

- Xét độ lệch tâm ngẫu nhiên e_a, tính e_1, e_0 và e theo công thức (2-1).

Tính toán cốt thép bắt đầu từ việc xác định chiều cao vùng nén x.

2.2.2. Xác định sơ bộ chiều cao vùng nén x_1

Trước hết cần xác định sơ bộ chiều cao vùng nén rồi căn cứ vào đó để phân biệt các trường hợp tính toán.

2.2.2.1. Xác định x_1 khi $R_{sc} = R_s$

Với nhiều loại cốt thép thường dùng có $R_s \leq 400$MPa và như vậy $R_{sc} = R_s$. Giả thiết điều kiện (2-6c) được thỏa mãn, có thể xác định x theo công thức (2-13) rút ra từ điều kiện (2-7a) và đặt là x_1.

$$x_1 = \frac{N}{R_b b} \tag{2-13}$$

2.2.2.2. Xác định x_1 khi $R_{sc} \neq R_s$

Trường phái Âu Mỹ không phân biệt giá trị cường độ tính toán của cốt thép khi nén và khi kéo vì vậy không có trường hợp $R_{sc} \neq R_s$. Trường phái Nga và một số nước khác có phân biệt và khi R_s khá cao thì $R_{sc} < R_s$.

Để tính toán sơ bộ chiều cao cùng nén x_1 cũng tạm giả thiết x thỏa mãn điều kiện (2-6c). Lấy giá trị N ở công thức (2-7a) thay vào điều kiện (2-2) với dấu bằng và dùng biểu thức M_{1gh} ở công thức (2-4) với $\sigma'_s = R_{sc}$ rút ra được phương trình bậc hai của x.

$$x^2 - 2(h_0 + t_s)x + \frac{2N}{R_b b}(e + t_s) = 0$$

$$t_s = \frac{R_{sc}Z_a}{R_s - R_{sc}}$$

Giải phương trình bậc hai, lấy nghiệm có nghĩa là x_1.

2.2.3. Các trường hợp tính toán

Giá trị x_1 vừa tính toán được chỉ mới là sơ bộ. Cần dựa vào x_1 để phân biệt các trường hợp tính toán là nén lệch tâm lớn thông thường. nén lệch tâm bé hay là trường hợp đặc biệt.

2.2.3.1. Nén lệch tâm lớn thông thường

Khi mà $2a' \le x_1 \le \xi_R h_0$ điều kiện giả thiết là đúng. Lúc này lấy $x = x_1$ và $\sigma'_s = R_{sc}$ thay vào công thức (2-4), kết hợp điều kiện (2-2) và chú ý rằng $N = R_b bx$ rút ra được công thức tính A'_s.

$$A'_s = \frac{N(e + 0.5x - h_0)}{R'_s Z_a} \qquad (2\text{-}14)$$

cốt thép đối xứng, lấy $A_s = A'_s$.

2.2.3.2. Nén lệch tâm bé. Khi $x_1 > \xi_R h_0$

Không dùng được giá trị x_1 vì không phù hợp với điều kiện giả thiết. Lúc này để tìm x cần phải giải đồng thời ba phương trình: phương trình (2-7b) với $A_s = A'_s$. phương trình quan hệ giữa σ_s và x lấy theo một trong các công thức (1-23) hoặc (1-25) và phương trình (2-2) kết hợp (2-4). Kết quả rút gọn lại được một phương trình bậc ba của x.

$$x^3 + a_2x^2 + a_1x + a_0 = 0 \qquad (2\text{-}15a)$$

Đem đặt $\xi = \frac{x}{h_0}$, đưa phương trình về dạng không thứ nguyên:

$$\xi^3 + k_2\xi^2 + k_1\xi + + k_0 = 0 \qquad (2\text{-}15b)$$

Các hệ số k_2, k_1, k_0 được xác định phụ thuộc vào phương trình quan hệ giữa σ_s và x, được cho trong bảng sau:

Phương trình σ_s - x	k_2	k_1	k_0
(1-23)	$-(\xi_R + 2)$	$2(1 + \varphi\gamma + n\varepsilon - 2\varphi)$	$2n(2\varphi\varepsilon - \gamma\varphi - \varepsilon)$
(1-23a)	$-(\xi_R + 2)$	$2(n\varepsilon + \xi_R) + \gamma(2 - \gamma - \xi_R)$	$-n[\gamma(2 - \gamma - \xi_R) + 2\varepsilon\xi_R)]$
(1-25b)	$\frac{1}{C}(\gamma - 1,7\beta_a - 1)$	$\frac{1}{C}[n\varepsilon(1 + 1,2\beta_a)] + \beta_a - n\gamma$	$-\frac{1}{C}n\beta_a\varepsilon$
$n = \frac{N}{R_b bh_o}$; $\varepsilon = \frac{e}{h_o}$; $\varphi = 0,5(1 - \xi_R)$; $\gamma = \frac{Z_a}{h_o}$; $\beta_a = \frac{\varepsilon_c E_s}{1,2R_s}$; $C = 0,5 + 0,6\beta_a$			

Giải phương trình bậc ba có thể bằng cách gần đúng với chú ý độ biến thiên của ξ trong khoảng giữa ξ_R và 1, có thể dùng phương pháp đồ thị hoặc có thể tham khảo cách giải ở phụ lục 5.

Theo ý nghĩa vật lý thì ξ chỉ biến thiên trong khoảng $\xi_R \le \xi \le \frac{h}{h_0}$. Tuy vậy với sự cẩn thận cần thiết có thể hạn chế ξ trong khoảng sau:

$$\xi_R \le \xi \le 1 \qquad (2\text{-}16)$$

Trong các phương trình quan hệ σ_s - x đã có dùng một vài điều gần đúng, đơn giản hóa do đó có một số trường hợp giải phương trình (2-15) được nghiệm không nằm trong giới hạn đã neu (khi n và ε đều khá bé thường tìm được $\xi > 1$), lúc này cần dùng điều kiện (2-16) để xác định ξ.

Sau khi có ξ, tính $x = \xi h_0$.

Để tránh việc phải lập và giải phương trình bậc ba quá phức tạp mà kết quả cũng chưa bảo đảm đúng hoàn toàn, trong tính toán thực tế có thể dùng công thức thực nghiệm (2-8); (2-10) hoặc (2-11) để xác định x. Sai số giữa các công thức gần đúng với nhau và với nghiệm của phương trình (1-15) là bình thường, có một vài trường hợp hơi lớn, tuy vậy kết quả cốt thép tính được chênh lệch không đáng kể và vẫn đảm bảo điều kiện an toàn.

Với x đã có, dùng điều kiện (2-2) kết hợp với công thức (2-4) rút ra công thức tính A'_s.

$$A'_s = \frac{Ne - R_b bx(h_0 - x/2)}{R_{sc}Z_a} \qquad (2\text{-}17)$$

cốt thép đối xứng lấy $A_s = A'_s$.

2.2.3.3. Trường hợp đặc biệt. Khi $x_1 < 2a'$

Khi xẩy ra $x_1 < 2a'$ thì giả thiết để tính x_1 không còn đúng do đó cũng không dùng được. Lúc này nếu tính toán chính xác thì sẽ được $x > x_1$ tuy vậy x vẫn còn nhỏ hơn 2a'. Để tính toán cốt thép dùng điều kiện (2-3) kết hợp công thức (2-12b), rút ra:

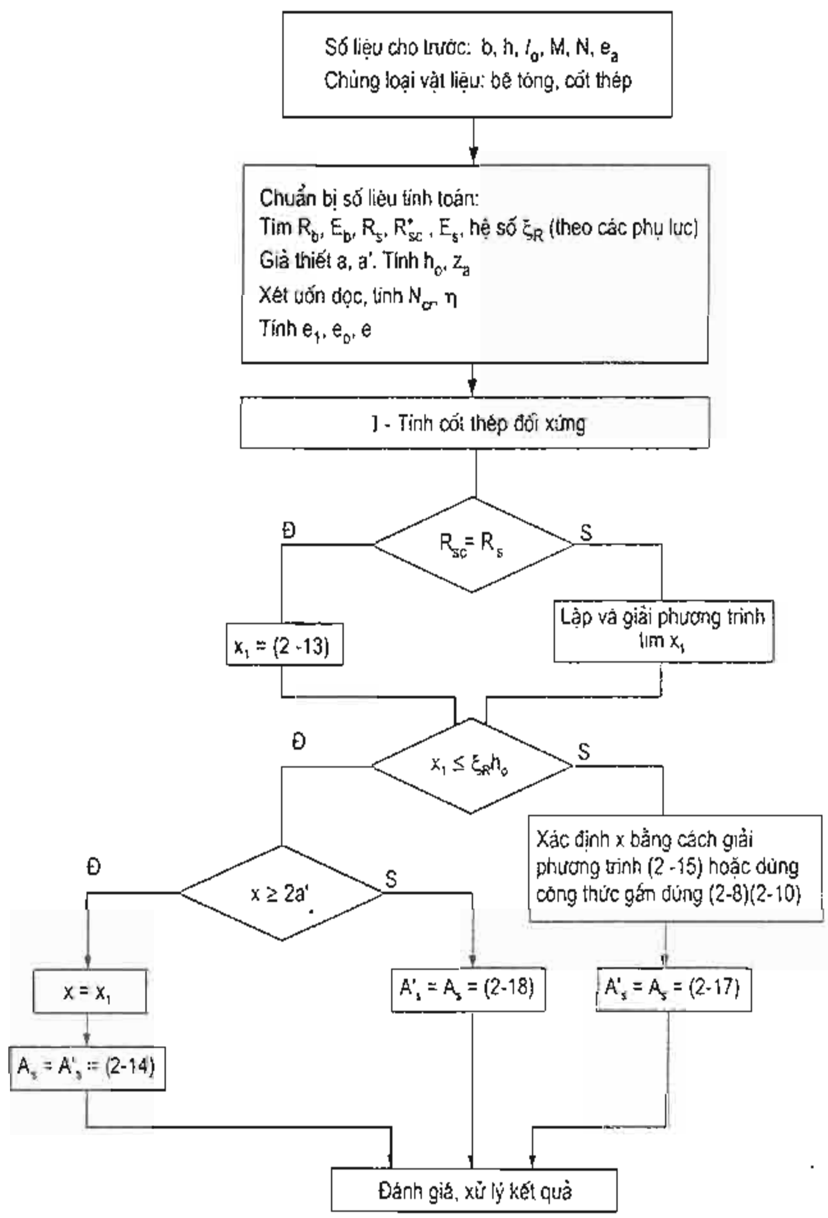
$$A_s = \frac{Ne'}{R_s Z_a} = \frac{N(e - Z_a)}{R_s Z_a} \qquad (2\text{-}18)$$

Cốt thép đối xứng lấy $A'_s = A_s$.

Khi a' là khá lớn có thể dùng công thức (2-26) để tính A_s.

2.2.4. Sơ đồ tính cốt thép đối xứng

Bài toán tính cốt thép đối xứng cấu kiện chịu nén lệch tâm, tiết diện chữ nhật, có cốt thép đặt tập trung theo cạnh b được sơ đồ hóa như trên hình 2.2.



Hình 2.2. Sơ đồ tính cốt thép đối xứng

2.2.5. Đánh giá và xử lý kết quả tính toán

Theo các công thức đã lập có thể tính toán được A_s, A'_s là dương hoặc âm. Khi tính được $A_s = A'_s < 0$ chứng tỏ kích thước tiết diện quá lớn, không cần đến cốt thép. Lúc này nếu có thể được thì rút bớt kích thước tiết diện (hoặc dùng loại vật liệu có cường độ thấp hơn) để tính lại. Khi không thể rút bớt như vừa nêu thì cần chọn đặt cốt thép theo yêu cầu tối thiểu, gọi là đặt cốt thép theo yêu cầu cấu tạo.

Chú ý rằng khi tính toán được A_s, A'_s âm thì các kết quả trung gian tính được hoặc dược chấp nhận (chiều cao vùng nén x_1; ứng suất trong bêtông và trong cốt thép...) là không chính xác, chúng chỉ có tác dụng như là điều kiện để tính toán chứ không phản ảnh đúng sự làm việc thực tế của tiết diện.

Khi tính được cốt thép dương, tính tỷ lệ cốt thép:

$$\mu_s = \frac{A_s + A'_s}{bh_o} \text{ hoặc } \mu_s\% = \frac{100(A_s + A'_s)}{bh_0}$$

Kiểm tra điều kiện (1-5): $\mu_{min} \le \mu_s \le \mu_{max}$

Khi $\mu_s < \mu_{min}$ chứng tỏ kích thước tiết diện là hơi lớn, cần xử lý như khi tính được cốt thép âm.

Khi $\mu_s > \mu_{max}$ chứng tỏ kích thước tiết diện quá bé, cần phải tăng kích thước tiết diện hoặc dùng vật liệu có cường độ cao hơn (hoặc dùng cả hai biện pháp) rồi tính toán lại để thỏa mãn $\mu_s \le \mu_{max}$.

Chọn và bố trí cốt thép cần tuân theo quy định về chiều dày lớp bảo vệ và khoảng hở giữa các cốt thép. Sau khi bố trí cốt thép cần xác định giá trị a, a' tính lại h_0, Z_a, so sánh chúng với giá trị đã được dùng trong tính toán trước đây. Khi giá trị h_0 và Z_a vừa tính toán được là lớn hơn hoặc bằng các giá trị đã được dùng thì kết quả là thiên về an toàn. Nếu giá trị h_0 và Z_a vừa tính toán được bé hơn các giá trị đã được dùng thì kết quả nghiêng về phía thiếu an toàn, cần có xử lý thích đáng. Khi mức độ bé hơn là không đáng kể thì chỉ cần chọn cốt thép tăng lên so với kết quả tính được (mức tăng lên có thể bằng hoặc lớn hơn mức giảm của Z_a). Nếu mức độ bé hơn là đáng kể thì cần giả thiết lại a và tính toán lại.

Một vấn đề rất quan trọng trong khi dùng các công thức để tính toán là việc thống nhất đơn vị. Khi dùng đơn vị của cường độ vật liệu là MPa = N/mm^2 thì cần đổi đơn vị chiều dài (b, h_0, Z_a...) thành milimét và đơn vị của nội lực là Niutơn, Niutơn×mm (ký hiệu là Niu và Nmm để tránh nhầm lẫn với N đã dùng để ký hiệu lực nén). Khi số liệu đầu vào được cho theo đơn vị khác (ví dụ kích thước tiết diện theo cm, nội lực theo kN, kNm) cần dùng hệ số chuyển đổi đơn vị thích hợp, tránh sự nhầm lẫn làm sai kết quả.

2.2.6. Thí dụ

Thí dụ 1. Cột tầng 5 của khung nhà một nhịp, sàn toàn khối, chiều dài cột l = 3,8m, tiết diện chữ nhật b = 25cm; h = 40cm, bêtông mác 300 (theo tiêu chuẩn cũ) cốt thép nhóm CII. Yêu cầu tính toán cốt thép đối xứng. Khi cột chịu cặp nội lực M = 138kNm; N = 650kN, trong đó nội lực do tải trọng thường xuyên và tải trọng tạm thời dài hạn gây ra là $M_{dh} = 80$; $N_{dh} = 500$.

Khung một nhịp, tầng trên $l_0 = 1{,}25l = 1{,}25\times3{,}8 = 4{,}75$m.

Bêtông mác 300, khi không xét hệ số điều kiện làm việc có:

R_b = 13MPa, E_b = 29000MPa. Cốt thép CII có $R_{sc} = R_s = 280$MPa

Với $R_b = 13$; $R_s = 280$ có $\xi_R = 0{,}608$ (phụ lục 2, 3, 4)

Giả thiết a = a' = 4cm; h_0 = 40 - 4 = 36cm = 360mm; Z_a = 320.

Xét uốn dọc: $\dfrac{l_0}{h} = \dfrac{4{,}75}{0{,}4} = 11{,}8 > 8$. Cần xét uốn dọc.

Độ lệch tâm tĩnh học $e_1 = \dfrac{M}{N} = \dfrac{138}{650} = 0{,}212\text{m} = 212\text{mm}$.

Độ lệch tâm ngẫu nhiên $e_a \geq \max\left(\dfrac{l}{600}, \dfrac{h}{30}\right) = 13{,}3\text{mm}$.

Độ lệch tâm ban đầu $e_0 = \max(e_1, e_a) = 212\text{mm}$.

Xác định hệ số η theo công thức (1-11) trong đó N_{cr} theo (1.16b).

Giả thiết tỷ lệ cốt thép $\mu_s = 1{,}5\% = 0.015$.

$$J_s = (A_s + A'_s)(0{,}5h - a)^2 = \mu_s b h_0 (0{,}5h - a)^2$$
$$= 0{,}015\times250\times360(200-40)^2 = 34{,}56\times10^6\,\text{mm}^4$$

$$\alpha_s = \frac{E_s}{E_b} = \frac{210000}{29000} = 7{,}24;\; J = \frac{bh^3}{12} = \frac{250\times400^3}{12} = 1333\times10^6\,\text{mm}^4$$

$$\delta_{e_{min}} = 0{,}5 - 0{,}01\frac{l_0}{h} - 0{,}01R_b = 0{,}5 - 0{,}01\frac{4750}{400} - 0{,}01\times13 = 0{,}251.$$

$$\delta_e = \frac{e_0}{h} = \frac{212}{400} = 0{,}53 > \delta_{e_{min}};\; \varphi_p = 1 \text{ (không có ứng lực trước)}$$

$\varphi_l = 1 + \beta\dfrac{M_l}{M}$. Bêtông nặng $\beta = 1$. Trong công thức tính φ_l thì M và M_l được lấy đối với mép tiết diện chịu kéo:

$$M = 138 + 650 \times \frac{0,4}{2} = 268$$

$$M_l = 80 + 500 \times \frac{0,4}{2} = 180$$

$$\varphi_l = 1 + \frac{180}{268} = 1,67$$

$$N_{cr} = \frac{6,4E_b}{l_0^2}\left[\frac{J}{\varphi_l}\left(\frac{0,11}{0,1 + \dfrac{\delta_e}{\varphi_p}} + 0,1\right) + \alpha_s J_s\right]$$

$$= \frac{6,4 \times 290.000}{4750^2}\left[\frac{1333 \times 10^6}{1,67}\left(\frac{0,11}{0,1 + 0,53} + 0,1\right) + 7,24 \times 34,56 \times 10^6\right]$$

$$= 3873100 = 3873kN.$$

$$\eta = \frac{1}{1 - \dfrac{N}{N_{cr}}} = \frac{1}{1 - \dfrac{650}{3873}} = 1,18$$

$$e = \eta e_0 + \frac{h}{2} - a = 1,18 \times 212 + \frac{400}{2} - 40 = 410mm$$

$$x_1 = \frac{N}{R_b b} = \frac{650 \times 1000}{13 \times 250} = 200mm$$

$x_1 < \xi_R h_0 = 0,608 \times 360 = 218$mm. Đồng thời $x_1 > 2a' = 80$.

$$A_s' = \frac{N(e + 0,5x - h_0)}{R_{sc} Z_a} = \frac{650 \times 10^3 (410 + 100 - 360)}{280 \times 320} = 1088mm^2$$

$$\mu_s = \frac{A_s + A_s'}{bh_0} = \frac{1088 \times 2}{250 \times 360} = 0,024 = 2,4\%$$

μ_s thực tế lớn hơn trị số đã giả thiết để tính N_{cr}.

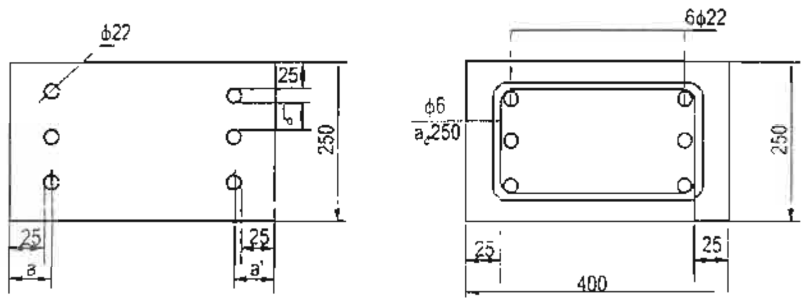
Chọn cốt thép: mỗi bên dùng 3ϕ22 có diện tích: 1140 mm^2. Bố trí như trên hình 2.3.

Lấy chiều dày lớp bảo vệ 25mm ($\geq \phi$) tính được chiều dày lớp đệm $a = 25 + \frac{\phi}{2} = 36mm$

h_0 = 400 - 36 = 364mm, lớn hơn giá trị dùng trong tính toán là 360mm.

Khoảng hở giữa hai cốt thép:

$$t_0 = \frac{250 - 2 \times 25 - 3\phi 22}{2} = 67mm > 50 \text{, đạt yêu cầu.}$$



Hình 2.3. Tiết diện cột - thí dụ 1.

Cốt thép đai trong cột chọn $\phi 6 \geq 1/4\phi_{doc\ max}$.

Khoảng cách cốt đai $a_d = 250 < 15\phi_{docmin} = 330$.

Thí dụ 2. Cột của nhà công nghiệp một tầng. Tính toán cho phần cột dưới cầu trục với chiều cao $H_1 = 6,4$m, dầm cầu trục không liên tục. Tiết diện chữ nhật b = 40cm; h = 80cm, bêtông có cấp độ bền 25, cốt thép loại RB400. Yêu cầu tính cốt thép đối xứng chịu cặp nội lực M = 480kNm. N = 500kN.

Chiều dài tính toán $l_0 = 1,5H_1 = 1,5 \times 6,4 = 9,6$m.

Bêtông cấp 25 có $R_b = 14,5$MPa, $E_b = 30000$MPa.

Cốt thép RB400 có $R_{sc} = R_s = 365$MPa.

Hệ số $\xi_R = 0,558$.

Giả thiết a = a' = 5cm; $h_0 = 80 - 5 = 75$cm = 750mm; $Z_a = 700$mm.

Xét uốn dọc:

$$\frac{l_0}{h} = \frac{9,6}{0,8} = 12 > 8$$

$$J = \frac{bh^3}{12} = \frac{400 \times 800^3}{12} = 17060 \times 10^6 \text{mm}^4$$

$$N_{cr} = \frac{2,5E_bJ}{l_0^2} = \frac{2,5 \times 30.000 \times 17060 \times 10^6}{9600^2} = 13880000\text{Niu}$$

$N_{cr} = 13880$kN.

$$\eta = \frac{1}{1 - \dfrac{N}{N_{cr}}} = \frac{1}{1 - \dfrac{500}{13880}} = 1,04$$

$$e_1 = \frac{M}{N} = \frac{480}{500} = 0,96 = 960\text{mm}$$

Độ lệch tâm ngẫu nhiên $e_a \geq \max\left(\frac{l}{600} \text{ và } \frac{h}{30}\right) = 27mm$

Tính toán cột như cấu kiện tĩnh định.

$$e_0 = e_1 + e_a = 960 + 27 = 987mm.$$

$$e = \eta e_0 + \frac{h}{2} - a = 1,04 \times 987 + \frac{800}{2} - 50 = 1377mm$$

$$x_1 = \frac{N}{R_b b} = \frac{500 \times 1000}{14.5 \times 400} = 86mm < 2a' = 100$$

Tính toán theo trường hợp đặc biệt:

$$A'_s = A_s = \frac{N(e - Z_a)}{R_s Z_a} = \frac{500000(1376 - 700)}{365 \times 700} = 1323mm^2$$

$$\mu_s = \frac{A_s + A'_s}{bh_0} = \frac{1323 \times 2}{400 \times 750} = 0.0096 = 0.96\%$$

Chọn cốt thép: mỗi bên đặt 3ϕ25, chọn chiều dày lớp bảo vệ 35mm: $a = 35 + \phi/2 = 48mm$ (hình 2.4a):

$$x_1 = 90,6 < 2a' = 96.$$

Ghi chú. Giả thử như chọn lớp bảo vệ 25mm, $a = a' = 25 + \phi/2 = 38mm$, $x_1 = 86 > 2a' = 76mm$

Tính lại cốt thép theo công thức khác với $h_0 = 762$, $Z_a = 724$.

$$A_s = A'_s = \frac{N(e + 0.5x - h_0)}{R_s Z_a} = \frac{500000(1376 + 43 - 762)}{365 \times 724} = 1243mm^2$$

Thí dụ 3. Cột có chiều dài tính toán $l_0 = 2.8m$, tiết diện chữ nhật $b = 30cm$; $h = 50cm$, bêtông cấp độ bền 20, cốt thép nhóm CII. Nội lực tính toán gồm $N = 1320kN$, $M = 218kNm$. Yêu cầu tính toán cốt thép đối xứng.

Bêtông cấp 20 có $R_b = 11,5MPa$, $E_b = 27000$; cốt thép CII có $R_{sc} = R_s = 280$. Hệ số $\xi_R = 0,61$.

Giả thiết $a = a' = 4cm$; $h_0 = 50 - 4 = 46cm = 460mm$; $Z_a = 460 - 40 = 420mm$.

$$\frac{l_0}{h} = \frac{2,8}{0,5} = 5,6 < 8, \text{ bỏ qua uốn dọc, } \eta = 1.$$

$$e_1 = \frac{M}{N} = \frac{218}{1320} = 0,165m = 165mm;$$

Độ lệch tâm ngẫu nhiên $e_a \geq \max\left(\frac{2800}{600} \text{ và } \frac{500}{30}\right) = 17mm$

Cấu kiện thuộc kết cấu siêu tĩnh:

$$e_o = \max(e_1, e_a) = 165\text{mm}.$$

$$e = 165 + \frac{500}{2} - 40 = 375\text{mm}$$

$$x_1 = \frac{N}{R_b b} = \frac{1320 \times 1000}{11 \times 300} = 400\text{mm}$$

$\xi_R h_0 = 0.6 \times 460 = 276 < x_1$. Tính toán theo trường hợp nén lệch tâm bé. Dùng công thức gần đúng để xác định x. Hệ số $\varepsilon_0 = \frac{e_o}{h} = \frac{165}{500} = 0.33$

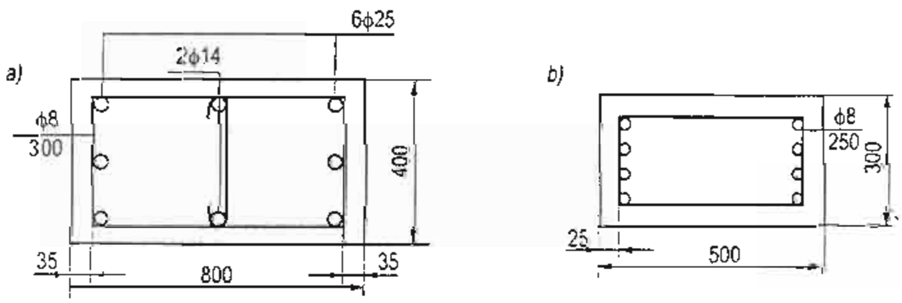
$$x = \left(\xi_R + \frac{1-\xi_R}{1+50\varepsilon_0^2}\right)h_0 = \left(0,6 + \frac{0,4}{1+50\times 0,33^2}\right)460 = 304$$

$$A_s = A_s' = \frac{Ne + R_b bx(h_0 - x/2)}{R_s' Z_a} = \frac{1320000\times 375 - 11,5\times 300\times 304(460-152)}{280\times 420}$$

$$= 1462\text{mm}^2$$

$$\mu_s = \frac{A_s + A_s'}{bh_0} = \frac{1462\times 2}{300\times 460} = 0,0247 = 2,47\%$$

Chọn cốt thép: mỗi bên chọn 4ϕ22 (hình 2.4b)



Hình 2.4. Tiết diện cột thí dụ 2 và 3

Ghi chú. Trong thí dụ 3 nếu muốn tính toán x bằng cách lập và giải phương trình thì:

$$\varphi = 0,5(1-\xi_R) = 0,2; \quad \varepsilon = \frac{e}{h_0} = \frac{375}{460} = 0,815$$

$$\gamma = \frac{Z_a}{h_0} = \frac{420}{460} = 0,913; \quad n = \frac{N}{R_b bh_0} = \frac{1320000}{11,5\times 300\times 460} = 0,8696.$$

$$k_2 = 2\varphi - 3 = -2,6$$

$k_1 = 2(1 + \varphi\gamma + n\varepsilon - 2\varphi) = 2(1 + 0,2 \times 0,913 + 0,8696 \times 0,815 - 0,4) = 2,9826.$

$k_0 = 2n(2\varphi\varepsilon + \gamma\varphi - \varepsilon) = 2 \times 0,8696(2 \times 0,2 \times 0,815 - 0,913 \times 0,2 - 0,815) = -1,168.$

Phương trình sẽ là:

$$\xi^3 - 2,6\xi^2 + 2,9826\xi - 1,168 = 0$$

Giải được $\xi = 0,71$; $x = 0,71 \times 460 = 326$.

$$A'_s = \frac{1320000 \times 375 - 11,5 \times 300 \times 326(460 - 163)}{280 \times 420} = 1368\text{mm}^2.$$

2.3. TÍNH TOÁN CỐT THÉP KHÔNG ĐỐI XỨNG

Trong thực tế chỉ có một số ít trường hợp người ta mới đặt cốt thép không đối xứng $A_s \neq A'_s$. Với một cặp nội lực M, N cho trước thì tính toán cốt thép không đối xứng cho tổng lượng cốt thép $A_s + A'_s$ bé hơn trường hợp cốt thép đối xứng (đặc biệt là khi nén lệch tâm bé). Tuy vậy khi cấu kiện chịu M đổi dấu mà giá trị tuyệt đối gần bằng nhau thì tổng lượng cốt thép trong trường hợp đặt đối xứng và không đối xứng chênh nhau không đáng kể. Cốt thép không đối xứng thật sự có hiệu quả về tiết kiệm vật liệu chỉ khi tiết diện chịu mômen không đổi dấu hoặc mômen theo chiều này khá lớn hơn mô men theo chiều ngược lại. Trường hợp đặc biệt của cốt thép không đối xứng là chỉ tính toán cốt thép ở một phía, phía kia không đặt cốt thép hoặc chỉ đặt theo cấu tạo (không kể đến trong tính toán).

Để tính toán cốt thép không đối xứng trước tiên cũng cần chuẩn bị số liệu giống như đã làm ở mục 2.2.1 đối với cốt thép đối xứng.

2.3.1. Trường hợp tính toán

Khi đặt cốt thép không đối xứng, ban đầu chưa có cách gì xác định được x để dựa vào đó mà phân biệt trường hợp tính toán. Lúc này có thể dựa vào độ lệch tâm:

Khi $\eta e_0 > e_{0p}$ - tính theo nén lệch tâm lớn

$\eta e_0 \leq e_{0p}$ - tính theo nén lệch tâm bé.

Tiêu chuẩn TCVN 5574 cho công thức thực nghiệm $e_{op} = 0,4\ (1,25h - \xi_R h_o)$ có thể lấy gần đúng $e_{op} = 0,3h_o$.

2.3.2. Nén lệch tâm lớn

Điều kiện để tính toán là $\eta e_0 > e_{0p}$ và chiều cao vùng nén x thỏa mãn điều kiện (2-6c). Lúc này có hai phương trình là (2-2) và (2-7a) để xác định ba ẩn số là x, A_s và A'_s. Đây là bài toán có nhiều nghiệm. Trong thực tế không cần tìm được tất cả các

nghiệm mà chỉ cần một nghiệm hợp lý là được. Để giải bài toán có thể cho trước một giá trị của một trong ba ẩn số rồi tìm hai ẩn còn lại. Chú ý rằng các ẩn số x, A_s, A'_s chỉ biến thiên trong một khoảng nhất định, tương đối hẹp nên giá trị cho trước hợp lý phải nằm trong khoảng xác định vừa nêu. Trong ba ẩn thì khoảng biến thiên của x là rõ ràng hơn cả ($2a' \leq x \leq \xi_R h_0$) vì vậy cho x một giá trị để tính A_s, A'_s là thuận lợi hơn. Cũng có thể cho trước A'_s để tính x và A_s hoặc cho trước A_s để tính x và A'_s. Tuy vậy vì khoảng biến thiên của A_s là khá bé và khó dự đoán nên trong thực tế tính toán ít dùng cách cho trước A_s mà thông thường chỉ cho trước x hoặc A'_s.

2.3.2.1. Chọn x, tính A'_s và A_s

Cho x một giá trị tùy ý trong khoảng $2a' \leq x \leq \xi_R h_0$.

Thay x đã có vào biểu thức (2-4) và dùng điều kiện (2-2) với chú ý $\sigma'_s = R_{sc}$ sẽ rút ra công thức để tính A'_s. Đó là công thức đã được lập (2-17). Viết lại:

$$A'_s = \frac{Ne - R_b bx(h_0 - 0,5x)}{R_{sc} Z_a} \tag{2-19}$$

Công thức (2-17) và (2-19) có dạng hoàn toàn giống nhau, cái khác chủ yếu là giá trị của x.

Khi tính được $A'_s > 0$, đem x và A'_s thay vào phương trình (2-7a) rút ra công thức tính A_s:

$$A_s = \frac{R_b bx + R_{sc} A'_s - N}{R_s} \tag{2-20}$$

Ứng với mỗi giá trị của x có A_s và A'_s tương ứng tuy vậy tổng lượng cốt thép A+A' thay đổi không lớn, vì khi tăng x thì A'_s giảm còn A_s tăng. Có thể chứng minh được bằng toán học khi $x = x_A = \dfrac{h_0 + a'}{2}$ thì tổng cốt thép $A_s + A'_s$ là bé nhất. Trong một số tài liệu người ta khuyên lấy $x = \xi_R h_0$ để tính toán với ý nghĩa sử dụng hết khả năng vùng bêtông chịu nén và có được tổng $A_s + A'_s$ gần với giá trị bé nhất.

Trường hợp tính toán được $A'_s \leq 0$ thì chọn lại x bé hơn rồi tính lại. Khi đã chọn x bé nhất bằng 2a' mà vẫn tính được $A'_s < 0$ thì chọn A'_s theo cấu tạo và tính A_s theo công thức (2-26).

2.3.2.2. Chọn A'_s tính x và A_s

Khi biết trước hoặc chọn trước A'_s cần tính x từ điều kiện (2-2) với dấu bằng:

$$Ne = R_b bx\left(h_0 - \frac{x}{2}\right) + R_{sc}A'_sZ_a \qquad (2\text{-}21)$$

Để tránh việc giải phương trình bậc hai, đem đặt $\xi = \frac{x}{h_0}, \alpha_m = \xi(1 - 0,5\xi)$ thay vào (2-21) rút ra:

$$\alpha_m = \frac{Ne - R_{sc}A'_sZ_a}{R_b bh_0^2} \qquad (2\text{-}22)$$

$$\xi = 1 - \sqrt{1 - 2\alpha_m} \qquad (2\text{-}23)$$

Hoặc từ α_m tra ra ξ theo bảng ở phụ lục 6.

Tính $x = \xi h_0$ và kiểm tra điều kiện $2a' \le x \le \xi_R h_0$ ($\xi \le \xi_R$). Khi thỏa mãn điều kiện vừa nêu thì thay x và A'_s vào công thức (2-20) để tính A_s.

Khi $\xi > \xi_R$ chứng tỏ A'_s đã biết là chưa đủ, cần tăng A'_s rồi tính lại hoặc xác định A'_s theo công thức (2-19).

Khi $x = \xi h_0 < 2a'$, kể cả trường hợp $\alpha_m < 0$, chứng tỏ A'_s là quá lớn, nếu có thể được thì giảm bớt A'_s rồi tính lại. Nếu vẫn giữ nguyên A'_s thì tính A_s theo trường hợp đặc biệt ở mục 2.3.2.4.

2.3.2.3. Trường hợp $A'_s = 0$

Đó là trường hợp đặc biệt khi không cần đến cốt thép A'_s (tính được $A'_s < 0$, không đặt cốt thép chịu nén hoặc chỉ đặt theo cấu tạo với $A'_s \ge 0{,}0005bh_0$, không kể vào trong tính toán).

Lúc này tính α_m theo công thức (2-22) trong đó cho $A'_s = 0$. Cánh tay đòn nội lực là Z_b.

$$Z_b = h_0 - \frac{x}{2} = (1 - 0,5\xi)h_0 = \varsigma h_0 \qquad (2\text{-}24)$$

$$\varsigma = 1 - 0,5\xi = 0,5\left(1 + \sqrt{1 - 2\alpha_m}\right) \qquad (2\text{-}25)$$

Diện tích cốt thép A_s có thể được tính theo công thức (2-20) trong đó cho $A'_s = 0$ hoặc tính theo công thức (2-26):

$$A_s = \frac{N(e - Z_b)}{R_s Z_b} \qquad (2\text{-}26)$$

2.3.2.4. Trường hợp đặc biệt $x < 2a'$

Khi biết trước A'_s, tính α_m, ξ mà $x = \xi h_0 < 2a'$, kể cả trường hợp $\alpha_m < 0$ thì không thể dùng x để tính tiếp. Lúc này tính A_s theo công thức (2-18).

Trường hợp a' là khá lớn, dùng (2-18) sẽ tính được A_s khá lớn. Có thể sẽ tiết kiệm hơn nếu bỏ qua A'_s trong tính toán và lúc này không cần điều kiện $x \geq 2a'$. Tính toán A_s theo công thức (2-26).

Kết hợp công thức (2-18) và (2-26) có thể viết thành:

$$A_s = \frac{N(e - Z)}{R_s Z} \tag{2-27}$$

Trong đó: $Z = \max(Z_a; Z_b)$.

2.3.2.5. Chọn A_s tính x và A'_s

Có thể chọn trước cốt thép chịu kéo A_s để tính toán. Lúc này rút A'_s từ biểu thức (2.7a) rồi đem thay vào (2-4) sẽ đưa về được một phương trình chứa x:

$$R_b bx\left(\frac{x}{2} - a'\right) = R_s A_s Z_a - N(e - Z_a)$$

Cũng có thể lập được phương trình trên đây bằng cách lấy mômen các lực đối với trục đi qua trọng tâm cốt thép A'_s và vuông góc với mặt phẳng uốn.

Giải phương trình, tìm được x, khi x thỏa mãn điều kiện hạn chế ($2a' \leq x \leq \xi_R h_0$) thì thay x vào công thức (2-19) để tính A'_s. Nếu tìm được x không thỏa mãn điều kiện hạn chế chứng tỏ giá trị A_s đã chọn là không hợp lý, cần chọn lại.

Như đã nhận xét ở phần đầu của mục 2.3.2, việc cho trước A_s để tính toán mang nặng tính chất lý thuyết, thực tế ít dùng đến.

2.3.3. Nén lệch tâm bé

Điều kiện để tính toán là $\eta e_0 < e_{op}$. Giới hạn của chiều cao vùng nén x là $\xi_R h_0 \leq x \leq h$.

Nén lệch tâm bé khi thỏa mãn điều kiện (2-28) thì xem là riêng bêtông đủ khả năng chịu lực, cốt thép hoàn toàn đặt theo cấu tạo.

$$N \leq N_B = R_b b\,(h - 2\eta e_0) \tag{2-28}$$

Khi $N > N_B$ cần tính toán. Lúc này có 4 ẩn số cần xác định là A_s, A'_s, x và σ_s trong lúc chỉ có ba phương trình. Đó là phương trình (2-2) kết hợp công thức (2-4), phương trình (2-7b) và một trong các phương trình quan hệ giữa σ_s và x.

Đây là bài toán có nhiều nghiệm, tuy vậy trong thiết kế thực tế chỉ cần một nghiệm hợp lý là được. Để tìm được nghiệm, về nguyên tắc có thể cho trước giá trị của một ẩn số bất kỳ rồi giải hệ phương trình để tìm ba ẩn còn lại. Chú ý rằng các ẩn số x, A_s, A'_s, σ_s chỉ biến thiên trong một khoảng xác định khá hẹp, nghiệm tìm được chỉ hợp lý khi cho trước ẩn số một giá trị phù hợp. Trong các ẩn thì khoảng biến thiên của x là khá rõ ràng vì vậy thường người ta chọn trước x để tính các ẩn còn lại. Tuy vậy cũng có thể chọn trước A_s để tính toán. Không đặt vấn đề chọn trước σ_s hoặc A'_s vì khó dự đoán khoảng biến thiên hợp lý của chúng, nếu chọn trước một giá trị không phù hợp sẽ có kết quả không hợp lý và phải tính lại một số lần.

2.3.3.1. Chọn trước x để tính toán

Về nguyên tắc toán học có thể chọn trước cho x một giá trị tùy ý trong khoảng xác định $\xi h_0 \le x \le h$. Tuy vậy nên xác định x theo công thức thực nghiệm (2-8) hoặc (2-10). Tính toán cốt thép A'_s theo công thức (2-17).

Về phương diện lý thuyết, khi đã có x và A'_s thì có thể tính σ_s và từ (2-7b) rút ra công thức tính A_s:

$$A_s = \frac{R_b bx + R_{sc}A'_s - N}{\sigma_s} \tag{2-29a}$$

Giá trị σ_s tính theo công thức (1-23a) hoặc (1-23).

Tuy vậy chỉ nên dùng công thức (2-29a) khi σ_s là tương đối lớn còn khi σ_s khá bé thì khả năng phạm sai số trong tính toán là lớn vì rằng các công thức xác định x và σ_s đều là công thức thực nghiệm, gần đúng. Hơn nữa khi độ lệch tâm e_1 là khá bé, cốt thép A_s chịu nén thì việc tăng độ lệch tâm từ e_1 thành ηe_0 sẽ làm giảm diện tích A_s. Lúc này sẽ là bất lợi cho A_s nếu giảm độ lệch tâm. Vì những lý do trên, ngoài yêu cầu về điều kiện cấu tạo, cốt thép A_s của cấu kiện chịu nén lệch tâm bé còn cần thỏa mãn điều kiện (2-29b) sau:

$$\theta_a A'_s \le A_s \le A'_s \tag{2-29b}$$

Yêu cầu $A_s \le A'_s$ là để phòng khi tính được σ_s quá bé, theo (2-28a) có thể tính ra A_s quá lớn, không đúng với thực tế. Yêu cầu $A_s \ge \theta_a A'_s$ là để phòng khi độ lệch tâm quá bé, kết quả tính theo (2-29a) được tính với độ lệch tâm lớn hơn sẽ chưa đủ an toàn. Hệ số θ_a lấy theo bảng sau:

e_1/h_0	0	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	≥0,15
θ_a	1	0,94	0,86	0,78	0,70	0,60	0,50	0,30

2.3.3.2. Chọn trước A_s để tính toán

Nén lệch tâm bé có thể chọn trước cốt thép A_s theo cấu tạo. Lúc này có ba phương trình để xác định ba ẩn số. Sau khi thực hiện một số biến đổi cần thiết đưa về một phương trình chứa x:

$$0{,}5R_b bdx^2 + (2R_sA_sZ_a - R_b bda')x - (Ne'd + tR_sA_sZ_a) = 0$$

Trong đó:

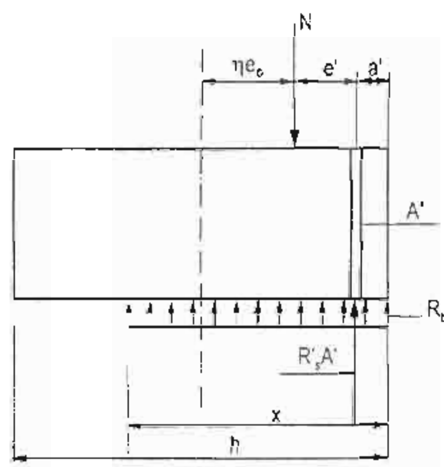
$$d = h - \xi_R h_0;\ t = h + \xi_R h_0;\ e' = Z_a - e.$$

Giải phương trình, kiểm tra điều kiện của x, đem x thay vào công thức (2-17) để tính A'_s. Nếu x không thỏa mãn điều kiện hạn chế đã nêu chứng tỏ giá trị A_s đã chọn là không hợp lý.

2.3.3.3. Trường hợp đặc biệt $A_s = 0$

Nén lệch tâm bé với $\eta e_0 < e_{op}$ có thể thiết kế với $A_s = 0$. Lúc này cần tính toán để bêtông và cốt thép A'_s chịu toàn bộ nội lực. Vì không có cốt thép A_s, không có điều kiện gì cho σ_s nên cũng không cần điều kiện $x \geq \xi_R h_0$. Chỉ cần điều kiện $2a' \leq x \leq h$.

Lập phương trình để xác định x bằng điều kiện (2-3), lấy mômen đối với trục đi qua trọng tâm A'_s (hình 2.5).



Hình 2.5. Sơ đồ tính toán khi $A_s = 0$

$$Ne' = M_{2gh} = R_b bx\left(\frac{x}{2} - a'\right) \qquad (2\text{-}30)$$

$$e' = 0{,}5h - \eta e_0 - a'$$

Điều kiện về khả năng chịu lực là:

$$N \leq N_{gh} = R_b bx + R'_s A'_s \qquad (2\text{-}31)$$

Để đơn giản việc giải phương trình (2-30) đặt:

$$\alpha_a = \frac{x}{a'};\quad T = \alpha_a(0{,}5\alpha_a - 1).$$

Rút ra:

$$T = \frac{Ne'}{R_b ba'^2} \qquad (2\text{-}32a)$$

$$\alpha_a = 1 + \sqrt{1 + 2T} \qquad (2\text{-}32b)$$

Hoặc từ T tra α_a ở bảng của phụ lục 6.

$$x = \alpha_a a'$$

Điều kiện là $x \le h$

Nếu tính được $x > h$ thì bắt buộc phải đặt cốt thép A_s, không thể bỏ được.

Sau khi có x, đem thay vào (2-31) rút ra công thức tính A'_s:

$$A'_s = \frac{N - R_b bx}{R_{sc}} \qquad (2\text{-}33)$$

Khi cần đặt cốt thép A_s theo cấu tạo thì lấy $A_s \ge 0{,}0005bh_0$.

2.3.4. Đánh giá và xử lý kết quả

Kết quả tính cốt thép không đối xứng có thể dương hoặc âm. Việc xử lý tiến hành theo mục 2.2.5 như đối với trường hợp đặt cốt thép đối xứng.

Trường hợp nén lệch tâm bé, nếu cần tính cốt thép không đối xứng thì cũng chỉ nên tiến hành khi độ lệch tâm $e_0 > 0{,}15h_0$. Với độ lệch tâm bé hơn, toàn bộ tiết diện chịu nén, chỉ nên đặt cốt thép đối xứng.

Khi đặt cốt thép không đối xứng, trường hợp nén lệch tâm bé luôn xảy ra $A'_s \ge A_s$ còn trường hợp nén lệch tâm lớn thì A'_s có thể lớn hơn hoặc nhỏ hơn A_s. Khi mà $R_b bx < N$ thì A'_s lớn hơn A_s và ngược lại.

2.3.5. Thí dụ

Thí dụ 1. Theo số liệu của thí dụ 1 ở mục 2.2.6, yêu cầu tính cốt thép không đối xứng. Số liệu (đã cho và đã tính được):

$b = 250$; $h = 400$; $a = a' = 40$; $h_0 = 360$; $Z_a = 320$mm.

$R_b = 13$, $R'_s = R_s = 280$ MPa; $\xi_R = 0{,}608$;

$N = 650$kN; $M = 138$ kNm; $e_0 = 212$mm; $\eta = 1{,}18$;

$e = 410$mm; $\xi_R h_0 = 216$mm.

Tính tiếp:

$$e_{op} = 0{,}4\,(1{,}25h - \xi_R\, h_0) = 0{,}4\,(1{,}25 \times 400 - 216) = 114\text{mm}$$

$$\eta e_0 = 1{,}18 \times 212 = 250 > e_{op} = 114.$$

Tính theo nén lệch tâm lớn.

Chọn $x = \xi_R h_0 = 216$mm.

$$A'_s = \frac{Ne - R_b bx(h_0 - 0,5x)}{R_{sc}Z_a}$$

$$A'_s = \frac{650000 \times 410 - 13 \times 250 \times 216(360 - 108)}{280 \times 320} = 1000mm^2$$

$$A_s = \frac{R_b bx + R'_s A'_s - N}{R_s} = \frac{13 \times 250 \times 216 + 280 \times 1000 - 650000}{280} = 1186mm^2$$

Tổng lượng cốt thép $A_s + A'_s = 1186 + 1000 = 2186mm^2$.

Kết quả gần bằng khi tính theo đối xứng.

Chú thích. *Trong thí dụ trên, nếu chọn x khác đi cũng được, giả sử chọn x = 150mm ($2a' = 80 < x < \xi_R h_0 = 216$). Với x = 150 tính được $A'_s = 1423mm^2$; $A_s = 843mm^2$, tổng lượng cốt thép là: $A_s + A'_s = 2266mm^2$. Kết quả gần bằng với các trường hợp đã tính.*

Thí dụ 2. Cột tiết diện chữ nhật b = 40cm; h = 60cm, chiều dài tính toán $l_0 = 3,6$m; bêtông mác 250 (cũ) cốt thép RB400W. Nội lực tính toán gồm N = 2200kN, M = 352kNm. Yêu cầu tính cốt thép không đối xứng.

Số liệu: $R_b = 11,5$, $E_b = 27000$; $R_s = R'_s = 365$ MPa. $\xi_R = 0,585$. Giả thiết a = a' = 4cm; $h_0 = 56cm = 560mm$; $Z_a = 520mm$.

Xét uốn dọc: $\frac{l_0}{h} = \frac{3,6}{0,6} = 6 < 8$. Bỏ qua uốn dọc, $\eta = 1$.

$$e_1 = \frac{M}{N} = \frac{352}{2200} = 0,16m = 160mm; e_a = 20mm$$

$$e_0 = 160; e = 160 + \frac{600}{2} - 40 = 420mm.$$

$$e_{op} = 0.4(1,25h - \xi_R h_0) = 0,4(1,25 \times 600 - 0,585 \times 560) = 177$$

$\eta e_0 = 160 < e_{op} = 177$. Tính toán theo nén lệch tâm bé.

$$\varepsilon_o = \frac{e_0}{h} = \frac{160}{600} = 0,267$$

$$x = \left[\xi_R + \frac{1 - \xi_R}{1 + 50\varepsilon_0^2}\right]h_0 = \left[0.585 + \frac{0,415}{1 + 50 \times 0,267^2}\right]560 = 364mm$$

$$A'_s = \frac{Ne - R_b bx(h_0 - 0,5x)}{R_{sc}Z_a} = \frac{2200000 \times 420 - 11,5 \times 400 \times 364(560 - 182)}{365 \times 520} = 1802mm^2$$

Tính σ_s theo công thức (1-23):

$$\sigma_s = \left(2\frac{1-\frac{x}{h_o}}{1-\xi_R}-1\right)R_s = \left(2\frac{1-\frac{364}{560}}{1-0,585}-1\right)365 = 250MPa$$

$$A_s = \frac{R_b bx + R_{sc}A'_s - N}{\sigma_s} = \frac{11\times400\times364+365\times1802-2200000}{250} = 68mm^2$$

$$\frac{e_1}{h_0} = \frac{160}{600} = 0,267; \theta_a = 0,3$$

Điều kiện chọn A_s: $A_s \geq \begin{cases} 0,0025bh_0 = 560mm^2 \\ \theta_a A'_s = 0,3\times1802 = 600mm^2 \end{cases}$

Lấy A_s theo giá trị lớn hơn trong 3 giá trị ở trên, $A_s = 600$.

$$A_s + A'_s = 600 + 1802 = 2402$$

$$\mu_s = \frac{2402}{400\times560} = 0,0107 = 1,07\%$$

Cũng với bài toán trên thử giải với trường hợp $A_s = 0$. (Thực tế chọn A_s theo cấu tạo tối thiểu $A_s = 0,0005 \times 400 \times 560 = 112mm^2$ và không kể vào tính toán).

$$e' = 0.5h - \eta e_0 - a' = 300 - 160 - 40 = 100mm$$

$$T = \frac{Ne'}{R_b ba'^2} = \frac{2200.000\times100}{11,5\times400\times40^2} = 31,25$$

$$\alpha_a = 1+\sqrt{1+2T} = 1+\sqrt{1+62,5} = 8,97$$
$$x = \alpha_a a' = 8,97\times40 = 359mm$$

$$A'_s = \frac{N - R_b bx}{R_{sc}} = \frac{2200.000 - 11\times400\times359}{365} = 1824mm^2$$

$$A_s + A'_s = 112 + 1824 = 1936mm^2$$

2.4. TÍNH TOÁN KHẢ NĂNG CHỊU LỰC

2.4.1. Các loại bài toán

Khi đã biết kích thước tiết diện và cấu tạo cốt thép có thể tính toán khả năng chịu lực theo một số bài toán khác nhau:

- Kiểm tra xem tiết diện có đủ khả năng chịu được một cặp nội lực M, N hay không.

- Với lực nén N cho trước tính xem tiết diện chịu được một mômen M bằng bao nhiêu.

- Với độ lệch tâm e_0 cho trước tính xem tiết diện chịu được lực nén N bằng bao nhiêu.

- Với M cho trước tính xem tiết diện chịu được N bằng bao nhiêu.

2.4.2. Kiểm tra khả năng chịu cặp nội lực M, N

Theo chiều tác dụng của M để xác định vị trí và trị số của A_s, A'_s (trường hợp cốt thép đối xứng thì không cần). Chuẩn bị các số liệu như trong mục 2.2.1. Chú ý rằng ở đây không giả thiết a, a' mà xác định trực tiếp từ số liệu cấu tạo.

Để biết được trường hợp tính toán cần tìm giá trị của chiều cao vùng nén x. Trước hết giả thiết điều kiện (2-6c) được thỏa mãn để từ phương trình (2-7a) rút ra x và đặt là x_2.

$$x_2 = \frac{N + R_s A_s - R_{sc} A'_s}{R_b b} \qquad (2\text{-}34)$$

Dựa vào giá trị x_2 để phân biệt các trường hợp.

2.4.2.1. Nén lệch tâm lớn thông thường

Khi x_2 nằm trong phạm vi $2a' \le x_2 \le \xi_R h_0$, kết quả đúng với giả thiết, lấy $x = x_2$ thay vào công thức (2-4) với $\sigma'_s = R'_{sc}$ để tính M_{tgh} và kiểm tra theo điều kiện (2-2).

2.4.2.2. Nén lệch tâm bé

Khi tính được $x_2 > \xi_R h_0$ không dùng được giá trị x_2 vì giả thiết không đúng. Lúc này phải giải đồng thời hai phương trình để xác định x. Phương trình thứ nhất là điều kiện cân bằng lực (2-7b), phương trình thứ hai là quan hệ giữa σ_s và x (1-23) hoặc (1-25).

Khi dùng phương trình (1-23a) kết hợp (2-7b) rút ra được:

$$x = \frac{(N - R_{sc}A'_s)(h - \xi_R h_0) + R_s A_s (h + \xi_R h_0)}{R_b b(h - \xi_R h_0) + 2R_s A_s} \qquad (2\text{-}35)$$

Điều kiện của x là $\xi_R h_0 < x \le h$

Sau khi có được x đem thay vào công thức (2-4) với $\sigma'_s = R_{sc}$ để tính M_{tgh} và kiểm tra điều kiện (2-2).

2.4.2.3. Trường hợp đặc biệt

Khi tính được $x_2 < 2a'$ cũng không dùng được giá trị x_2. Lúc này cần tiến hành kiểm tra theo điều kiện (2-3) với M_{2gh} xác định theo (2-12b).

2.4.2.4. Kiểm tra sự chịu nén ngoài mặt phẳng uốn

Ngoài việc kiểm tra với cặp nội lực M, N, khi b < h còn cần kiểm tra sự chịu lực theo phương ngoài mặt phẳng uốn. Điều kiện kiểm tra là $N \le N_0$ với N_0 là khả năng chịu nén đúng tâm, xác định theo công thức (1-6).

2.4.3. Xác định M khi cho trước N

Tiến hành theo các bước như đã lập trong mục 2.4.2. để xác định M_{1gh}. Thay biểu thức của e vào điều kiện (2-2) tính được e_0.

$$e_0 = \frac{M_{1gh} - N(0,5h - a)}{\eta N} \qquad (2\text{-}36)$$

Từ e_0 và độ lệch tâm ngẫu nhiên e_a tính ra độ lệch tâm e_1:

$$M = Ne_1 \qquad (2\text{-}37)$$

Khi xác định M cần chú ý đến dấu (chiều tác dụng). Dựa vào dấu của M để biết cốt thép nào là A_s, A'_s. Nếu không quy định trước dấu của M thì khi cốt thép không đối xứng sẽ xác định được 2 giá trị của M theo hai chiều ứng với cốt thép A_s ở bên trái hoặc bên phải.

2.4.4. Xác định N khi biết e_0

Cho trước độ lệch tâm e_0 có nghĩa là cho trước điểm đặt của N. Dựa vào điểm đặt đó để phân định cốt thép A_s, A'_s (A'_s đặt gần N hơn). Giả thiết điều kiện x ≥ 2a' được thỏa mãn, đem thay biểu thức của N ở (2-5) với $\sigma'_s = R_{sc}$ vào điều kiện (2-2) rút ra phương trình để xác định x:

$$x^2 + 2(e - h_0)x + \frac{2(R_{sc}A'_s e' - \sigma_s A_s e)}{R_b b} = 0 \qquad (2\text{-}38)$$

Cũng có thể lập được phương trình (3-8) bằng cách lấy tổng mômen các lực đối với trục đi qua điểm đặt của N.

Giả thiết tiếp là $x \le \xi_R h_0$ để lấy $\sigma_s = R_s$ thay vào phương trình, giải ra, lấy nghiệm có nghĩa và đặt là x_3:

$$x_3 = (h_0 - e) + \sqrt{(h_0 - e)^2 + \frac{2(R_s A_s e - R_{sc} A'_s e')}{R_b b}} \qquad (2.38a)$$

Trong này e' = e - Z_a được lấy theo dấu đại số để tính.

Dựa vào x_3 tìm được để phân biệt các trường hợp.

2.4.4.1. Nén lệch tâm lớn thông thường

Khi thỏa mãn cả hai giả thiết $2a' \le x_3 \le \xi_R h_0$ thì lấy $x = x_3$ thay vào công thức (2-7a) để tính N.

2.4.4.2. Nén lệch tâm bé

Khi $x_3 > \xi_R h_0$, phải tính lại x.

Lúc này cần giải đồng thời hai phương trình để tìm x và σ_s. Phương trình thứ nhất là phương trình (3-38), phương trình thứ hai là quan hệ σ_s và x, có thể chọn một trong các công thức đã lập (1-23); (1-23a) hoặc (1-25).

Sau khi tìm được x, đem thay vào công thức (2-4) với $\sigma'_s = R_{sc}$ để tính M_{1gh}. Từ điều kiện (2-2) rút ra:

$$N = \frac{M_{1gh}}{e} = \frac{R_b bx(h_0 - x/2) + R_{sc}A'_s Z_a}{e} \tag{2-39}$$

2.4.4.3. Trường hợp đặc biệt

Khi tính được $x_3 < 2a'$ (kể cả trường hợp $x_3 < 0$) cần dùng điều kiện (2-3) và công thức (2-12b) để xác định N:

$$N = \frac{M_{2gh}}{e'} = \frac{R_s A_s Z_a}{(e - Z_a)} \tag{2-39a}$$

2.4.4.4. Giả thiết trước η

Trong biểu thức xác định e có hệ số η chưa tính được, vậy ban đầu phải giả thiết một giá trị $\eta \ge 1$ để tính toán. Sau khi có được N thì tính lại η, so sánh với giá trị đã giả thiết, nếu hai giá trị là gần bằng nhau thì chấp nhận được.

2.4.4.5. Kiểm tra ngoài mặt phẳng

Giá trị N tính được còn cần thỏa mãn điều kiện $N \le N_0$ như đã trình bày trong mục 2.4.2.4.

2.4.5. Xác định N khi cho trước M

2.4.5.1. Tính toán M_0 theo trường hợp chịu uốn

Dựa vào chiều của mômen để định vị cốt thép chịu kéo A_s. Tính toán M_0 là mômen uốn tiết diện chịu được khi N = 0.

Từ phương trình (2.7a) khi N = 0 rút ra x và đặt là x_4:

$$x_4 = \frac{R_s A_s - R_{sc}A'_s}{bR_b} \tag{2-40}$$

Khi $2a' \le x_4 \le \xi_R h_0$ lấy $x = x_4$ để tính M_0.

$$M_0 = R_b bx(h_0 - 0,5x) + R_{sc}A'_s Z_a \tag{2-41}$$

Công thức (2-41) tương tự như công thức (2-4).

Khi $x_4 > \xi_R h_0$ vẫn dùng công thức (2-41) trong đó $x = \xi_R h_0$

Khi $x_4 < 2a'$ (kể cả khi $x_4 < 0$) tính M_0 theo (2-42):

$$M_0 = R_s A_s Z_a \tag{2-42}$$

2.4.5.1. Trường hợp $M > M_0$

Khi $M > M_0$ cần xác định hai giá trị N_1 và N_2 ứng với trường hợp nén lệch tâm lớn và nén lệch tâm bé.

Giả thiết điều kiện $x \ge 2a'$ được thỏa mãn ($\sigma'_s = R_{sc}$). Thay biểu thức e vào biểu thức (2-5) vào điều kiện (2-2) rút ra phương trình bậc 2 của x.

$$R_b bx^2 - R_b bhx - R_{sc}A'_s(h - 2a') - \sigma_s A_s(h - 2a) + 2\eta M = 0 \tag{2-43}$$

Tạm giả thiết η để tính toán như ở mục trước.

Giả thiết tiếp $x \le \xi_R h_0$ để có $\sigma_s = R_s$. Thay $\sigma_s = R_s$ vào phương trình (2-43) tìm được hai nghiệm x_a, x_b. Ứng với mỗi nghiệm có nghĩa tính được giá trị N tương ứng.

Với x thỏa mãn điều kiện giả thiết $2a' \le x \le \xi_R h_0$ thì thay x vào công thức (2-7a) để tính N.

Với $x > \xi_R h_0$ cần giải đồng thời hai phương trình để xác định σ_s và x. Phương trình (2-43) và một trong các phương trình quan hệ σ_s và x. Có x sẽ tính được N.

Với $x < 2a'$, bằng cách biến đổi điều kiện (2-3) rút ra:

$$N = \frac{\eta M - R_s A_s Z_a}{0,5h - a'} \tag{2-44}$$

2.4.5.2. Trường hợp $M < M_0$

Lúc này xảy ra nén lệch tâm bé và chỉ có một giá trị N. Tính toán bằng cách giải đồng thời hai phương trình để tìm x và σ_s sau đó từ x xác định N.

2.4.5.3. Kiểm tra N

Giá trị N tính được trong mục 2.4.5 đều không được lấy lớn hơn giá trị N_0 tính theo công thức (1-6).

2.5. BIỂU ĐỒ TƯƠNG TÁC

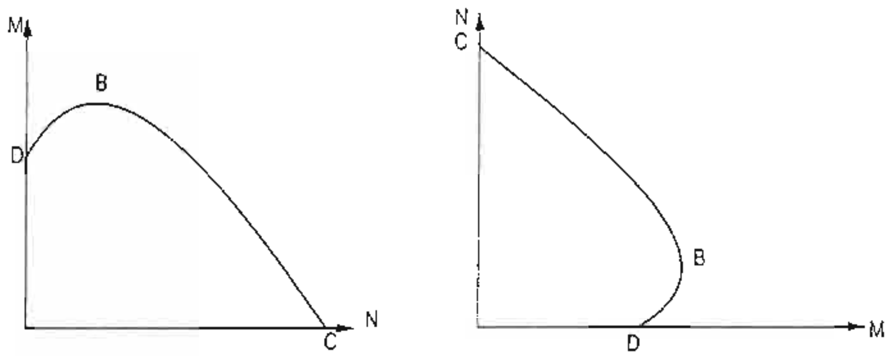
2.5.1. Khái niệm về biểu đồ tương tác

Tương tác ở đây là tương tác giữa khả năng chịu mômen uốn M và khả năng chịu lực nén N.

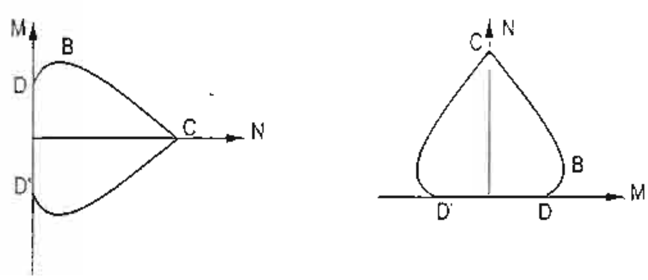
Với một tiết diện có cốt thép đã biết biểu đồ tương tác thể hiện toàn bộ khả năng chịu lực của nó ứng với mọi giá trị của M và N.

Như đã trình bày trong mục 2.4 ứng với mỗi giá trị N tìm được một giá trị M, ứng với mỗi giá trị e_0 tìm được một giá trị N hoặc ứng với mỗi giá trị M tìm được một hoặc hai giá trị N. Lập biểu đồ với hai trục là M và N. Mỗi cặp giá trị như vừa nêu cho một điểm. Tập hợp tất cả các điểm có được biểu đồ tương tác. Khi đặt cốt thép đối xứng biểu đồ có dạng như trên hình 2.6. Trong hai trục có thể lấy trục đứng để biểu diễn M hoặc N tùy theo sự thuận lợi khi thể hiện và khi dùng.

Hình 2.6 thể hiện biểu đồ khi mômen M theo một chiều. Khi xét M theo hai chiều (dương và âm) thì biểu đồ được phát triển theo cả hai phía như trên hình 2.7.

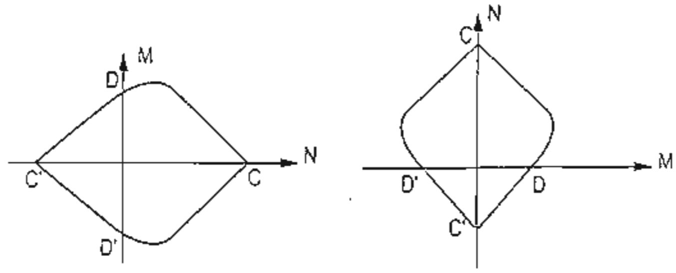


Hình 2.6. Biểu đồ tương tác thể hiện theo hai cách với M theo 1 chiều



Hình 2.7. Biểu đồ tương tác với M hai chiều

Khi xét cả N theo hai chiều (nén và kéo) thì biểu đồ được phát triển thành dạng khép kín như trên hình 2.8.



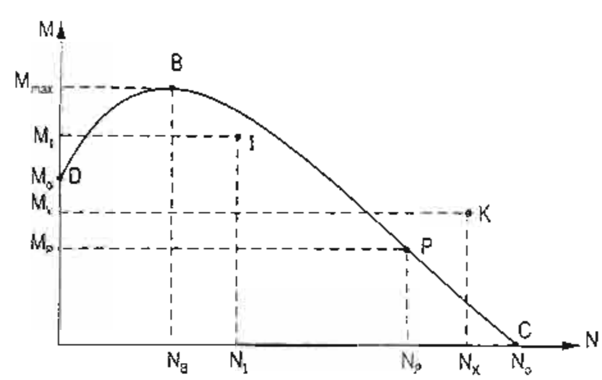
Hình 2.8. Biểu đồ tương tác với M và N theo hai chiều.

Xét riêng góc một phần tư với N nén, trên biểu đồ có ba điểm đặc biệt. Điểm D ứng với N = 0 và M_0 (công thức 2-41, 2-42). Điểm C ứng với M = 0 và N_0. Giá trị N_0 xác định theo công thức (1-6). Điểm B ứng với M_{max} và N_B. Có thể chứng minh được rằng khi a = a', điểm B ứng với trường hợp $x = x_B = \frac{h_0 + a'}{2} = 0.5h$. Với giá trị này của x, nếu tính toán cốt thép không đối xứng sẽ có được tổng lượng cốt thép $A_s + A'_s$ là nhỏ nhất.

Biểu đồ tương tác chia mặt phẳng làm hai miền: bên trong và bên ngoài. Với một cặp nội lực M, N cho trước có một điểm trong mặt phẳng. Khi điểm đó thuộc miền trong (điểm I) tiết diện đủ khả năng chịu lực. Nếu điểm đó thuộc miền ngoài (điểm K) tiết diện không đủ khả năng chịu lực (hình 2.9).

Trên biểu đồ, vùng lân cận điểm B có thể là nén lệch tâm lớn hoặc bé, phần còn lại trong đoạn DB tương ứng với nén lệch tâm lớn, trong đoạn BC - nén lệch tâm bé.

Với các điểm nằm ngay trên biểu đồ (điểm P) khả năng chịu lực vừa đúng bằng nội lực mà tiết diện phải chịu. Khi điểm đó nằm trên đoạn BC thì một trong hai nội lực M hoặc N giảm xuống sẽ làm tăng độ an toàn và ngược lại. Nếu điểm đó nằm trên đoạn DB thì khi M giảm sẽ tăng an toàn còn N giảm sẽ nguy hiểm. Trong đoạn $M > M_0$ ứng với mỗi giá trị của M có hai lực N_1 và N_2. Khi N thay đổi trong khoảng trên $N_1 \leq N \leq N_2$ thì có được an toàn (giả thiết $N_2 > N_1$) còn nếu N vượt ra ngoài phạm vi trên là nguy hiểm.



Hình 2.9. Biểu đồ và các cặp nội lực

Điểm B ứng với M_{max}. Với mômen này tiết diện chỉ đủ khả năng chịu lực khi N vừa bằng đúng N_B còn nếu N tăng lên hay giảm xuống tiết diện đều bị nguy

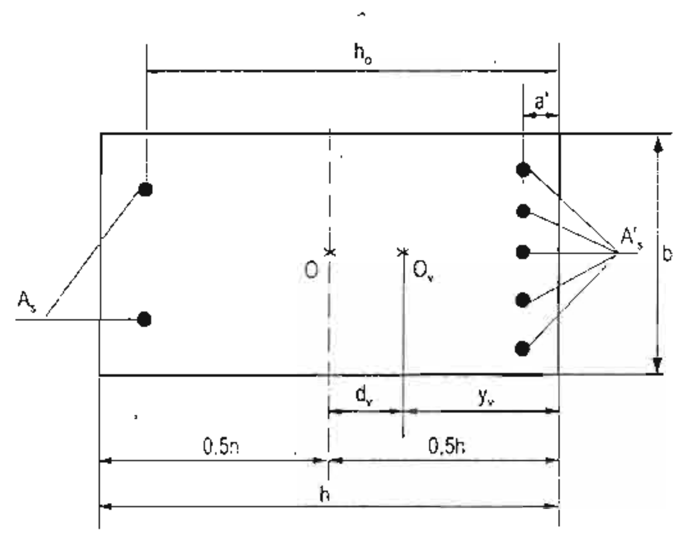
hiểm. Với nhận xét này, khi thiết kế không nên vì mục đích tiết kiệm cốt thép mà cho tiết diện làm việc ở điểm B nếu chưa có được độ tin cậy cần thiết của M và N.

2.5.2. Biểu đồ tương tác với A_s khác A'_s

Với tiết diện đặt cốt thép không đối xứng, đặc biệt là khi A_s và A'_s khác nhau nhiều thì biểu đồ tương tác có một đoạn lùi hơi khác so với các biểu đồ đã vẽ cho tiết diện đặt cốt thép đối xứng. Để xem xét vấn đề này trước hết cần bàn về trọng tâm hình học và trọng tâm vật liệu của tiết diện.

Trọng tâm hình học O của tiết diện chữ nhật cách đều các cạnh, là giao điểm của hai đường chéo. Trọng tâm vật liệu của tiết diện, ký hiệu O_v được xác định có kể đến sự khác nhau về khả năng biến dạng của bêtông và của cốt thép thông qua giá trị môdun đàn hồi của chúng.

Một cách khác, trọng tâm vật liệu O_v là trọng tâm của tiết diện tương đương trong đó đã quy đổi diện tích cốt thép ra diện tích bêtông tương đương. Hệ số quy đổi là tỷ số của môdun đàn hồi $n_s = \frac{E_s}{E_b}$



Hình 2.10. Trọng tâm hình học O và trọng tâm vật liệu O_v của tiết diện.

Lấy trục đi qua mép tiết diện phía có A'_s làm chuẩn, khoảng cách từ O_v đến trục chuẩn là y_v được xác định như sau:

$$y_v = \frac{0,5bh^2 + n_s(A_s h_0 + A'_s a')}{bh + n_s(A_s + A'_s)} \tag{2-45}$$

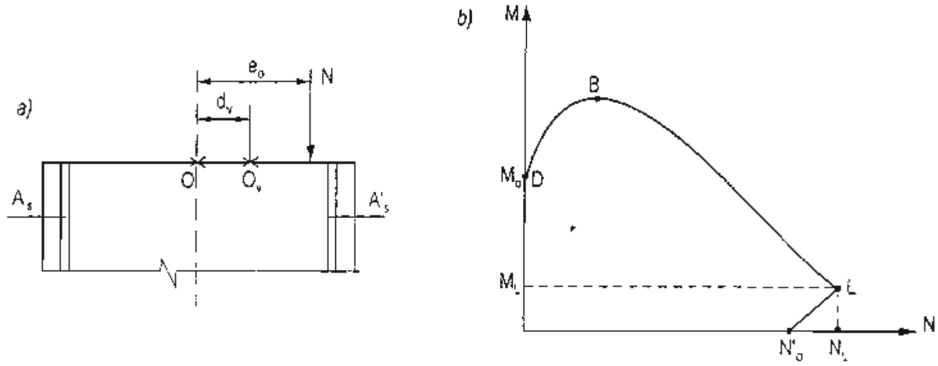
Với tiết diện có cốt thép đối xứng thì $y_v = 0,5h$, điểm O_v trùng với O.

Khi lập sơ đồ tính toán chúng ta lấy trục đi qua trọng tâm O để xác định độ lệch tâm e_0 và tính $M = Ne_0$. Nhưng nếu lấy trục đi qua trọng tâm O_v thì mômen M_v sẽ là (hình 2.11a).

$$M_v = N(e_0 - d_v) = M - Nd_v \tag{2-46}$$

Trong đó: d_v - khoảng cách giữa O và O_v; $d_v = 0,5h - y_v$.

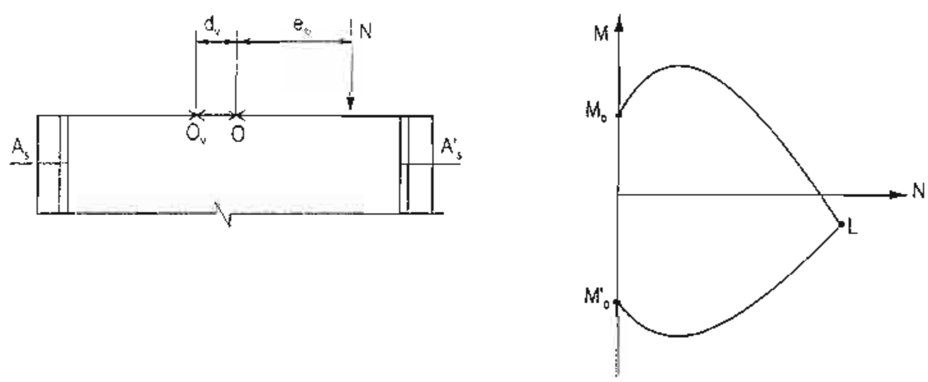
Những nghiên cứu về sự làm việc của tiết diện bêtông cốt thép cho rằng tính toán với trục qua O_v là đúng hơn, tuy vậy trong nhiều trường hợp độ sai lệch không đáng kể nên được bỏ qua. Người ta chỉ nêu ra vấn đề này khi muốn thể hiện thật chính xác (theo lý thuyết) biểu đồ tương tác.



Hình 2.11. Sơ đồ và biểu đồ tương tác khi $A'_s > A_s$

Như vậy khi lực N đặt đúng vào O_v tiết diện mới thực sự chịu nén trung tâm và chịu được lực nén lớn nhất $N_L = N_0$. Tuy vậy nếu so với trục qua O thì lúc này tiết diện vẫn còn chịu một mômen $M = M_L = Nd_v$. Khi vị trí đặt lực N nằm giữa O và O_v thì thực chất, so với O_v, M đã đổi chiều. Trên biểu đồ có một đoạn lùi từ L (hình 2.11b).

Khi $A_s > A'_s$, điểm O_v gần với A_s hơn, sơ đồ và biểu đồ tương tác như trên hình 2.12.



Hình 2.12. Sơ đồ và biểu đồ tương tác khi $A_s > A'_s$

2.5.3. Các phương pháp vẽ biểu đồ tương tác

Biểu đồ tương tác được tính toán theo từng điểm, nối các điểm lại thành đường liên tục. Để xác định tọa độ từng điểm có thể dùng một trong những cách đã trình bày ở các mục 2.4.3. đến 2.4.5: Cho N tìm M, cho M tìm N hoặc cho ηe_0 tìm N. Dùng bài toán biết ηe_0 tính N trong việc vẽ biểu đồ tương tác có nghĩa là từ gốc tọa độ kẻ đường xiên

lập với trục N một góc φ mà $tg\varphi = \eta e_0$. Điểm cần tìm nằm trên đường xiên đó (khi đã tính được N). Có thể và nên dùng kết hợp các phương pháp vì mỗi phương pháp có chỗ mạnh và chỗ yếu của nó. Ba phương pháp đã trình bày là với một giá trị đã biết của đại lượng này tìm giá trị tương ứng của đại lượng kia. Để vẽ biểu đồ thì chúng ta tự cho đại lượng này các giá trị khác nhau để tìm các giá trị tương ứng của đại lượng kia và có được một số điểm.

Trong các phương pháp đã biết phương pháp nào cũng phải tính toán thông qua một biến trung gian là x. Vậy có thể xem x là biến độc lập để từ đó xác định các giá trị của M và N. Về phương diện vật lý, cho x biến đổi có nghĩa là sử dụng thay đổi mức độ chịu nén của bêtông từ đó mà xác định khả năng chịu nén mà khả năng chịu mômen của tiết diện. Về mặt thực hành lấy x làm biến số là đơn giản hơn cả.

Trước hết tính x_4 theo công thức (2-40).

Khi $x_4 \geq 2a'$ thì lấy x biến thiên trong khoảng $x_4 \leq x \leq h$.

Khi $x_4 < 2a'$ (kể cả khi $x_4 < 0$) lấy $2a' \leq x \leq h$.

Nhận xét rằng, khi tính toán tiết diện, nếu kể đến độ lệch tâm ngẫu nhiên e_a và ảnh hưởng của uốn dọc η thì mômen từ M tăng lên thành $M^* = N\eta e_0$ - xem công thức (1-18). Trong tính toán thực hành, ở trục mômen người ta không đặt giá trị M mà đặt giá trị M*, làm như vậy việc lập và sử dụng biểu đồ đơn giản hơn.

Với các giá trị của x trong khoảng $2a' \leq x \leq \xi_R h_0$ tính giá trị N theo công thức (2-7a), tính M_{tgh} theo công thức (2-4) trong đó $\sigma'_s = R_{sc}$ và tính $N\eta e_0$ theo công thức (2-47) rút ra từ điều kiện (2-2).

$$M^* = N\eta e_0 = M_{tgh} - N(0,5h - a) \qquad (2\text{-}47)$$

Với các giá trị x trong khoảng $\xi_R h_0 < x \leq h$, dùng công thức (1-23a) xác định σ_s, dùng công thức (2-7b) tính N, dùng công thức (2-4) tính M_{tgh} và xác định $N\eta e_0$ theo (2-47).

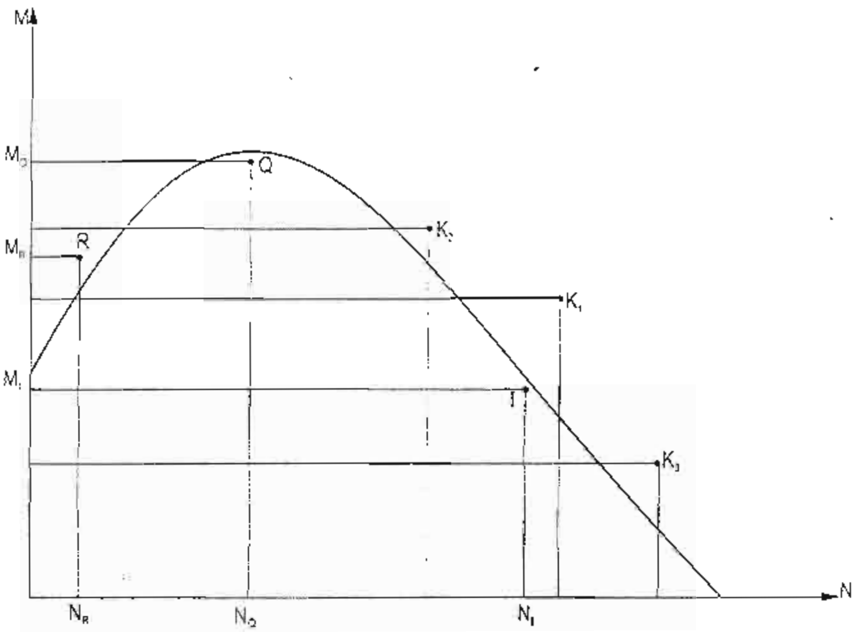
2.5.4. Nhận xét về biểu đồ tương tác

Biểu đồ tương tác của tiết diện đặt cốt thép đối xứng có hình dạng như hình 2.6. và 2.9. Khi dùng biểu đồ này để xem xét khả năng chịu lực của tiết diện có một số nhận xét như sau (hình 2.13):

- Điểm I nằm bên trong miền chịu lực với M_I, N_I. Các điểm K_1, K_2, K_3 nằm bên ngoài miền chịu lực thì hoặc là cả M_{Kj}, N_{Kj} đều lớn hơn M_I, N_I, hoặc ít nhất cũng có một trong hai đại lượng lớn hơn M_I, N_I. Đó là trong đại thể.

- Trong vùng lân cận đoạn DB tình hình có khác. Một điểm Q ở miền trong với M_Q; N_Q. Một điểm R ở miền ngoài trong lúc đó $M_R < M_Q$ và $N_R < N_Q$. Như vậy tiết diện

chịu được một cặp nội lực M_Q, N_Q trong lúc không chịu được cặp M_R, N_R đều có giá trị nhỏ hơn. Tuy vậy cặp nội lực M_R, N_R có độ lệch tâm $e_0 = \dfrac{M}{N}$ lớn hơn. Điều nhận xét vừa rồi như là một nghịch lý, nó được giải thích bằng cách phân tích sự làm việc của tiết diện bêtông cốt thép chịu nén lệch tâm lớn, sự phá hoại bắt đầu từ vùng kéo. Khi M và N đều giảm nhưng N giảm nhiều hơn thì lực kéo trong cốt thép sẽ tăng lên. Công thức (2-20) cho thấy, khi N lớn thì cốt thép chịu kéo A_s sẽ bé hơn.



Hình 2.13. Nhận xét về biểu đồ tương tác

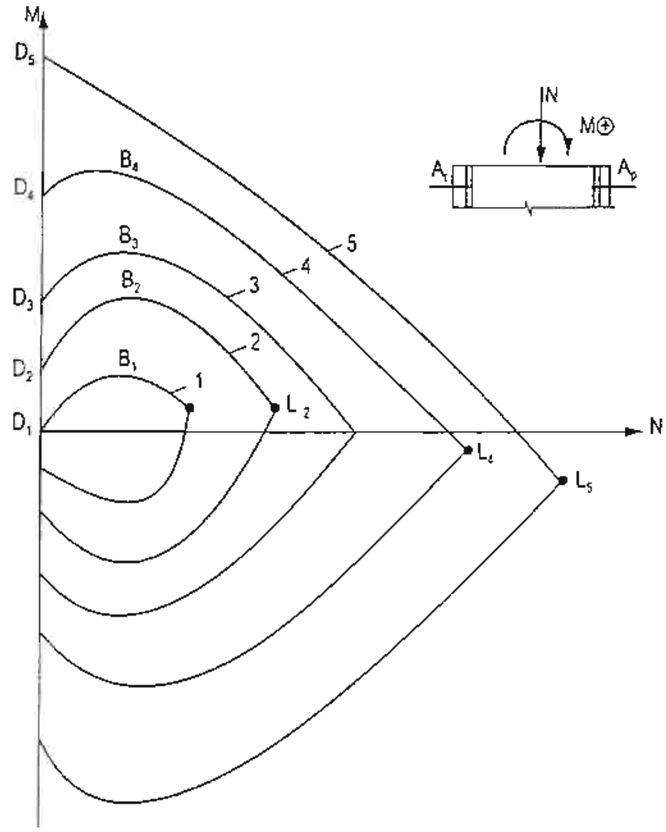
Hình dạng đường cong của biểu đồ tương tác phụ thuộc vào giá trị tuyệt đối và tỷ lệ giữa cốt thép ở hai phía, vào giá trị tương đối của x_4 là $\xi_4 = \dfrac{x_4}{h_0}$.

Xét tiết diện đặt cốt thép ở phía bên trái là A_t, bên phải là A_p. Cho A_p một giá trị cố định vào mức trung bình, cho A_t thay đổi từ O đến một giá trị khá lớn. Vẽ các biểu đồ với cả mômen dương (A_t chịu kéo) và mômen âm (A_p chịu kéo). Hình dạng các biểu đồ thay đổi như thể hiện trên hình 2.14.

Xét riêng phần biểu đồ ứng với mômen dương (A_t chịu kéo) thấy như sau:

Khi $A_t = 0$ có đường 1, điểm D_1 trùng gốc tọa độ. Tuy $A_t = 0$ nhưng khi tăng lực nén N khả năng chịu mômen tăng cho đến điểm B_1.

Tăng A_t nhưng $A_t < A_p$, có đường 2. Biểu đồ có điểm lùi L_2 ở phía trên. Khi $A_t = A_p$, có đường 3, đối xứng.



Hình 2.14. Các dạng đường cong của biểu đồ tương tác

Tăng $A_t > A_p$ nhưng vẫn giữ cho $\xi_4 = \dfrac{x_4}{h_0} < \xi_R$ (xem x_4 ở công thức 2-40), có đường 4 với điểm lùi L_4 nằm ở phía dưới. Khi giá trị ξ_4 càng tăng lên thì đoạn DB càng giảm. Tăng A_t đến mức $\xi_4 > \xi_R$, đoạn DB biến mất (đường 5).

2.5.5. Biểu đồ tương tác không thứ nguyên

Lập biểu đồ với kích thước tiết diện và cốt thép đã biết như phần trên đã trình bày chỉ thích hợp cho một trường hợp cụ thể nào đó với việc vận dụng bị hạn chế. Lập biểu đồ với các thông số không thứ nguyên, đặc biệt là lập các họ biểu đồ sẽ có được sự vận dụng rộng rãi hơn.

Xét tiết diện đặt cốt thép đối xứng $A_s = A'_s$ và thỏa mãn điều kiện $R_s = R_{sc}$.

Đặt :
$$n = \frac{N}{R_b b h_0};\quad m = \frac{M^*}{R_b b h_0^2} = \frac{N\eta e_0}{R_b b h_0^2}$$

$$\delta = \frac{a}{h_0} = \frac{a'}{h_0};\quad \xi = \frac{x}{h_0}$$

$$\alpha = \frac{R_{sc}A'_s}{R_b b h_0} = \frac{R_s A_s}{R_b b h_0} \tag{2-48}$$

Công thức (2.7b) biến đổi thành:

$$n = \xi + \alpha\,(1 - \varphi_s) \tag{4-49}$$

Trong đó $\varphi_s = \frac{\sigma_s}{R_s}$. Khi $\xi \leq \xi_R$ thì $\varphi_s = 1$ và $n = \xi$.

Với $\xi > \xi_R$ và khi dùng công thức (1-23a) để xác định σ_s sẽ có được:

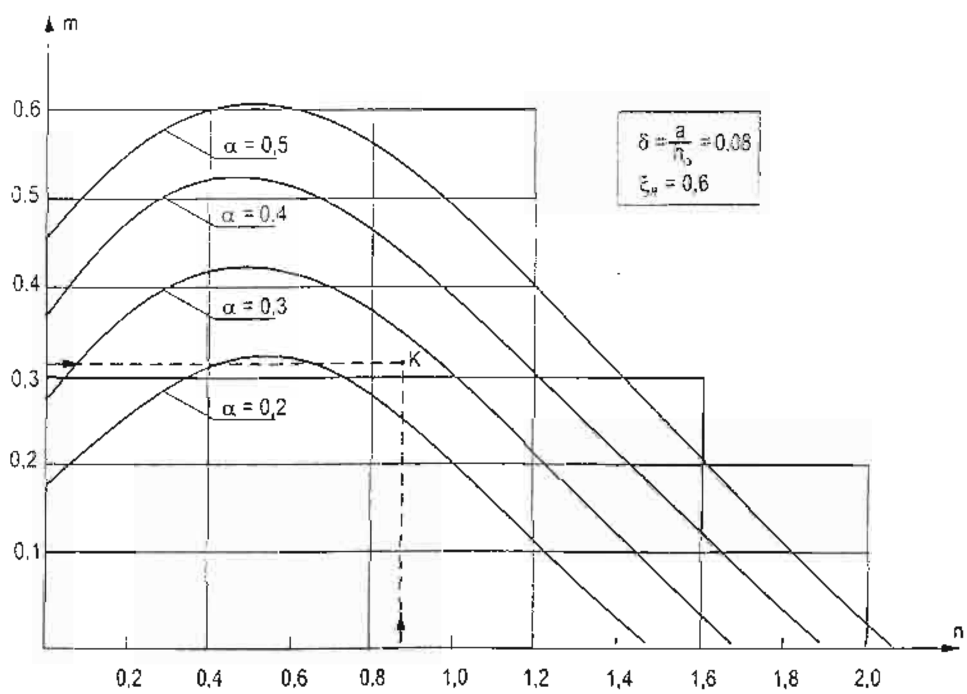
$$\varphi_s = \frac{\sigma_s}{R_s} = 1 - \frac{2(\xi - \xi_R)}{1 + \sigma - \xi_R} \tag{2-50}$$

Biến đổi công thức (2-47) thành:

$$m = \xi(1 - 0{,}5\xi) + (1 - \delta)(\alpha - 0{,}5n) \tag{2-21}$$

Để lập một biểu đồ, cho δ, ξ_R và α một giá trị chọn sẵn, cho ξ thay đổi sẽ tính ra các giá trị n và m. Mỗi cặp n, m cho một điểm của biểu đồ. Lấy ξ thay đổi từ O đến ξ_R, sau đó từ ξ_R đến h.

Với δ, ξ_R chọn sẵn, lại cho α thay đổi (α_1, α_2... α_n) sẽ có dược một họ biểu đồ. Như vậy một họ biểu đồ ứng với một giá trị δ, ξ_R, nhiều giá trị α. Cho δ thay đổi sẽ có nhiều họ biểu đồ với cac δ, α khác nhau. Hình 2.15 vẽ một họ biểu đồ như vậy.



Hình 2.15. Họ biểu đồ tương tác không thứ nguyên

Khi vẽ biểu đồ cho một tiết diện cụ thể với chiều dài tính toán l_0 cho trước, đã xét được ảnh hưởng của uốn dọc theo phương yếu nhất (hệ số uốn dọc φ) để tính giá trị N_0 (khả năng chịu nén đúng tâm, khi M = 0). Khi lập biểu đồ không thứ nguyên chưa xét được điều vừa trình bày vì vậy giá trị n ứng với m = 0 chỉ mới thể hiện khả năng chịu nén lớn nhất lúc chưa kể uốn dọc.

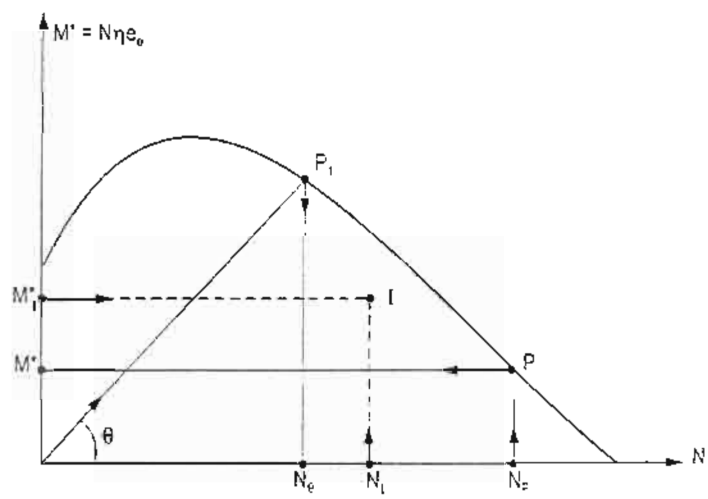
2.5.6. Dùng biểu đồ tương tác

Biểu đồ tương tác của tiết diện một cấu kiện cụ thể được dùng chủ yếu để kiểm tra khả năng chịu lực theo các bài toán trong mục 2.4.

Để kiểm tra khả năng chịu cặp nội lực M, N thì trước hết tính e_0, η và $M = N\eta e_0$. Với M* và N có được một điểm I. Khi điểm đó nằm ở miền trong của biểu đồ thì tiết diện đủ khả năng chịu lực.

Để xác định M khi biết N thì từ N tìm được điểm P là giao của đường gióng từ N với biểu đồ. Từ P tìm ra M*, tính được e_0 và M.

Để xác định N khi biết e_0, giả thiết hệ số η. Kẻ đường xiên có góc θ mà $tg\,\theta = \eta e_0$. Đường này cắt biểu đồ tại điểm P_1. Từ P_1 tìm ra giá trị N (hình 2.16). Chú ý tgθ ở đây có đơn vị chiều dài, phải tính toán theo tỷ lệ trên hai trục của biểu đồ.



Hình 2.16. Dùng biểu đồ tương tác để xác định khả năng chịu lực

Họ biểu đồ không thứ nguyên, ngoài việc dùng để kiểm tra khả năng chịu lực như trên (chỉ dùng một đường ứng với α đã biết) còn dùng để tính toán cốt thép một cách nhanh chóng.

Từ các số liệu M, N, b, h, R_s, R_b đã cho, giả thiết a để tính h_0 và $\delta = \dfrac{a}{h_0}$. Tính n, ηe_0, m. Dùng họ đường cong với δ và ξ_R thích hợp sẽ từ m, n tìm được α và :

$$A_s = \frac{\alpha R_b b h_0}{R_s} \quad (2\text{-}52)$$

Thí dụ. Lấy số liệu ở thí dụ 3 mục 2.2.6: b = 300, h = 500mm; l_0 = 2,8m; R_b = 11,5; R_s = 280MPa; N = 1320kN; M = 218kN. Giả thiết a = 37, h_0 = 463, $\delta = \frac{37}{463} = 0,08$; $\xi_R = 0,61$.

Đã tính toán được e_0 = 165mm; η = 1.

$$n = \frac{N}{R_b b h_0} = \frac{1320 \times 1000}{11,5 \times 300 \times 463} = 0,864$$

$$m = \frac{N\eta e_0}{R_b b h_0^2} = n\frac{\eta e_0}{h_0} = 0,864\frac{165}{463} = 0,308$$

Với n = 0,864 và m = 0,308 tìm trên họ biểu đồ có điểm K nằm giữa hai đường cong ứng với α = 0,2 và 0,3. Nội suy có được α = 0,28 (gần đúng).

$$A_s = \frac{0,28 \times 11,5 \times 300 \times 467}{280} = 1610\text{mm}^2$$

2.5.7. Thí dụ vẽ biểu đồ tương tác

Thí dụ 1. Cho tiết diện như trên hình 2.4b với l_0 = 2,8m; b = 30cm, h = 50cm, $A_s = A'_s$ = 2φ22 + 2φ25 = 17,4cm^2, a = a' = 3,75cm, lấy tròn a = a' = 4cm, R_b = 11, R_s = 260MPa; ξ_R = 0,64. Tính toán và vẽ biểu đồ tương tác.

h_0 = 50 – 4 = 46cm = 460mm; Z_a = 420mm.

$$x_4 = \frac{R_s A_s - R_{sc} A'_s}{R_b b} = 0$$

$M_0 = R_s A_s Z_a = 260 \times 1740 \times 420 = 190 \times 10^6 N_{iu}mm$ = 190kNm.

$N_0 = \varphi(R_b A_b + R_s A_{st})$ (công thức 1-6).

$A_{st} = A_s + A'_s = 17,4 \times 2 = 34,8\text{cm}^2 = 3480\text{mm}^2$

$A_b = 300 \times 500 - 3480 = 146500\text{mm}^2$.

i = 0,288b = 0,288×300 = 8,6

$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{2800}{86,4} = 32,4 > 28$, cần xét uốn dọc

$$\varphi = 1{,}028 - 0{,}0000288 \times 32{,}4^2 - 0{,}0016 \times 32{,}4 = 0{,}94$$

$$N_0 = 0{,}94\ (11 \times 146500 + 260 \times 3480) = 2365000\text{Niu.}$$

$$N_0 = 2365\text{kN}$$

Cho x biến thiên trong khoảng $2a' = 80 \le x \le \xi_R h_0 = 276$

Lấy x = 80;

$$N = R_b bx + R_s A'_s - R_s A_s = 11 \times 300 \times 80 + (0) = 264000 \text{ Niu} = 264 \text{ kN}$$

$$M_{1gh} = R_b bx\ (h_0 - 0{,}5x) + R_{sc} A'_s Z_a$$

$$= 11 \times 300 \times 80(460-40) + 260 \times 1740 \times 420 = 300{,}9 \times 10^6 \text{Niu mm} = 300{,}9\text{kNm.}$$

$$M^* = M_{1gh} - N\ (0{,}5h - a) = 300.9 - 264\ (0.5 \times 0.5 - 0.04) = 245.4 \text{ kNm.}$$

Tiếp tục lấy các giá trị khác của x bằng 120, 160, 200, 230, 250, 276, tính được kết quả ghi trong bảng:

x (mm)	N (kN)	M_{1gh} (kNm)	M* (kNm)
120	396	348,4	265,2
160	528	390,6	279,7
200	660	427,6	289
230	759	451,8	292,4
250	825	466,4	293,2
276	91	483,3	292

Tiếp tục cho x biến thiên trong khoảng $\xi_R h_0 < x \le h = 500$, với x = 300, (dùng công thức 1.23a tính σ_s):

$$\sigma_s = \left[1 - \frac{2(x - \xi_R h_0)}{h - \xi_R h_0}\right] R_s = \left[1 - \frac{2(300 - 276)}{500 - 276}\right] 260 = 204{,}3\text{MPa}$$

$$N = R_b bx + R_{sc} A'_s - \sigma_s A_s.$$

$$= 11 \times 300 \times 300 + 260 \times 1740 - 204{,}3 \times 1740 = 1087 \times 10^3 \text{Niu.}$$

$$M_{1gh} = R_b bx\ (h_0 - 0{,}5x) + R_{sc} A'_s\ Z_a$$

$$= 11 \times 300 \times 300\ (460 - 150) + 260 \times 1740 \times 420 = 496{,}9 \times 10^6 \text{Nmm.}$$

$$M^* = 496{,}9 - 1087\ (0{,}5 \times 5 - 0{,}04) = 268{,}6.$$

Tiếp tục tính toán với các giá trị của x bằng 350, 400, 450, 480. Kết quả ghi ở bảng sau:

x (mm)	σ_s (MPa)	N (kNiu)	M_{lgh} (kNm)	M* (kNm)
300	204,3	1087	497	269
350	88,2	1454	519	214
400	-27,8	1820	533	151
450	-144	2188	539	80
480	-213,6	2407	-	-

Lực nén tối đa cột chịu được N = 2365 kN, khi tính với x = 480 có N = 2407 > N_0, dừng tính toán. Kết quả để vẽ biểu đồ ghi trong bảng sau:

N	0	396	528	660	759	825	911	1087	1454	1820	2188	2365
M*	190	265,2	279,7	289	292,4	293	292	269	214	151	539	0

Thí dụ 2. Vẽ biểu đồ tương tác không thứ nguyên, cốt thép đối xứng với $\delta = \dfrac{a}{h_0} = 0,08$.

Tỷ lệ cốt thép $\mu = \dfrac{A_s}{bh_0} = 0,01$, $R_s = 260$; $R_b = 13$; $\xi_R = 0,6$

$$\alpha = \frac{A_s R_s}{R_b bh_0} = 0.01 \times \frac{260}{13} = 0,2$$

Trong phạm vi $0 < \xi < \xi_R = 0.6$ có $n = \xi$.

Khi $\xi = 0$; $n = 0$; $m = (1-\delta)(\alpha - 0.5n) = 0,92 \times 0,2 = 0,184$

với $\xi = 2\delta = 0,16$; $n = 0,16$

$m = \xi(1 - 0,5\xi) + (1-\delta)(\alpha - 0,5n) = 0.16\,(1 - 0,08) + 0,92\,(0.2 - 0,08)$

$m = 0,2576$.

Với các giá trị khác của $\xi \le \xi_R = 0.6$, kết quả ghi trong bảng sau:

ξ	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
n	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
m	0,272	0,301	0,32	0,329	0,328

Với $\xi_R < \xi < 1 + \delta = 1,08$.

$$\varphi_s = 1 - \frac{2(\xi - \xi_R)}{1 + \delta - \xi_R} = 1 - \frac{\xi - 0,6}{0,24}$$

$n = \xi + \alpha\,(1 - \varphi) = \xi + 0,2\,(1 - \varphi_s)$

$m = \xi\,(1 - 0,5\xi) + (1 - \delta)(\alpha - 0,5n) = \xi\,(1 - 0,5\xi) + 0,92\,(0,2 - 0,5n)$

ξ	0,7	0,8	0,9	1,0	1,08
φ_s	0,583	0,167	-0,25	-0,667	-1,0
n	0,783	0,967	1,15	1,33	1,48
m	0,28	0,23	0,15	0,07	0

Kết quả để vẽ biểu đồ tương tác lấy theo hai bảng trên. Khi cho α thay đổi sẽ có một họ biểu đồ. Hình 2.15 thể hiện họ biểu đồ với các giá trị α = 0,2; 0,3; 0,4 và 0,5. Chú ý rằng họ biểu đồ ở hình 2.15 mang tính chất tượng trưng, được thể hiện chưa thật chính xác do đó chưa dùng được để thiết kế thực tế. Để dùng cho thực tế có thể tham khảo các biểu đồ ở phụ lục. Theo nguyên tắc và thí dụ đã nêu, mỗi cơ quan thiết kế nên tự lập cho mình một số biểu đồ mẫu để dùng.

2.6. TÍNH TOÁN VỚI NHIỀU CẶP NỘI LỰC

2.6.1. Chọn các cặp nội lực để tính toán

Khi tổ hợp nội lực để tính toán cột (xem mục 1.3) thông thường mỗi cột được xét ít nhất hai tiết diện, mỗi tiết diện có 6 cặp nội lực trong hai tổ hợp cơ bản, như vậy mỗi cột có ít nhất 12 cặp nội lực cơ bản. Ngoài ra còn có thể có các cặp nội lực của tổ hợp đặc biệt. Theo nguyên tắc thì tiết diện cần phải đủ khả năng chịu tất cả các cặp nội lực có thể xảy ra. Khi dùng biểu đồ tương tác để tính toán cốt thép hoặc kiểm tra thì việc tính với một số lớn các cặp nội lực không có gì là phức tạp. Tuy vậy, khi dùng công thức để tính toán thì khối lượng công việc tăng lên nhiều. Để giảm nhẹ khối lượng người ta tìm cách bỏ bớt một số cặp, chỉ chọn ra một số cặp thuộc loại bất lợi nhất để tính toán (cần nhiều cốt thép hơn). Khi tiết diện có đủ khả năng chịu được các cặp thuộc loại bất lợi nhất thì nó cũng đủ khả năng chịu các cặp còn lại.

Điều 3.21 của TCVN 5574 - 1991 quy định: Chọn các cặp nội lực M, N bất lợi trong đó ngoài giá trị tuyệt đối của mômen còn cần xét đến chiều của nó. Với một lực nén N đã chọn, để tính toán cần lấy M có giá trị tương ứng lớn nhất. Còn nếu với M đã chọn để tính toán mà N tương ứng có khả năng thay đổi thì cần xét đến cả giá trị N bé nhất và N lớn nhất.

Trong các cặp nội lực của bảng tổ hợp thì cả M và N đều thay đổi do đó khó chọn ra một cặp nào đó là bất lợi nhất mà thường phải chọn ra một số cặp đáng nghi ngờ thuộc loại bất lợi nhất, trong đó nếu đặt cốt thép đối xứng thì không cần chú ý đến chiều của mômen còn nếu đặt cốt thép không đối xứng thì phải chú ý cả đến chiều của mômen (M dương, M âm). Các cặp thuộc loại bất lợi nhất là các cặp:

- Cặp có giá trị tuyệt đối mômen lớn nhất.

- Cặp có lực nén lớn nhất.

- Cặp có độ lệch tâm e_0 lớn nhất.

- Cặp có M và N đều thuộc loại lớn.

- Cặp có M và độ lệch tâm e_0 đều thuộc loại lớn.

Việc chọn bao nhiêu cặp để tính toán không có quy định cụ thể, có thể là 2, 3, 4 hoặc nhiều hơn tùy thuộc vào sự phân tích của người thiết kế. Nói chung dùng càng nhiều cặp để tính toán thì độ tin cậy càng cao.

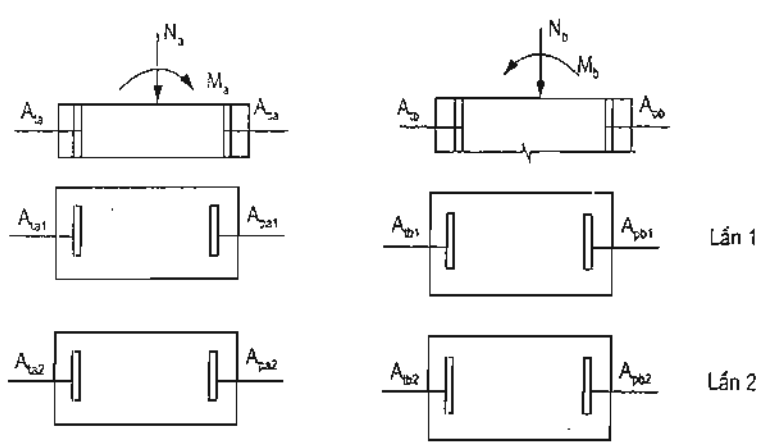
2.6.2. Tính toán cốt thép với nhiều cặp nội lực

2.6.2.1. Nguyên tắc chung

Khi đã chọn được một số cặp nội lực, nếu tính cốt thép đối xứng thì tiến hành tính cho tất cả các cặp rồi lấy giá trị lớn nhất để bố trí.

Khi đặt cốt thép không đối xứng với mục đích tiết kiệm cốt thép thì việc tính toán sẽ trở nên phức tạp hơn vì ứng với một cặp nội lực thường phải tính một số lần, cứ sau mỗi lần lại so sánh kết quả của các cặp khác nhau để điều chỉnh nhằm đạt được việc sử dụng cốt thép thật hợp lý, tiết kiệm. Để tiện theo dõi chúng ta đánh số các cặp nội lực là i = a, b, c..., gọi cốt thép phía bên trái là A_t, bên phải là A_p, thứ tự các lần tính là j = 1,2... Ký hiệu của một cốt thép trong quá trình tính toán là A_{tij} hoặc A_{pij}. Trong trường hợp cần phân biệt rõ ràng cốt thép chịu kéo hoặc chịu nén thì có thể thêm dấu phẩy cho cốt thép chịu nén, thí dụ, nếu ký hiệu A'_{tij} thì đã có ngụ ý cốt thép đó chắc chắn là chịu nén còn nếu ký hiệu A_{tij} là chung chung. Hình 2.17 nêu một thí dụ tiết diện được tính với hai cặp nội lực a, b ở hai lần tính. Khi cần phân biệt rõ ràng sự chịu lực của cốt thép có thể ký hiệu A'_{pa} và A'_{tb}.

Việc tính toán phụ thuộc vào các cặp mômen là cùng chiều hay khác chiều, tính toán theo nén lệch tâm lớn hay lệch tâm bé.



Hình 2.17. Sơ đồ đặt tên cốt thép các lần tính

2.6.2.2. Trường hợp các cặp mômen cùng chiều

Tính toán cốt thép không đối xứng với các cặp nội lực có mômen cùng chiều, trước hết tính cho tất cả các cặp và so sánh kết quả. Khi có một cặp nào đó cho A_t và A_p đều lớn nhất thì dừng việc tính toán và lấy kết quả đó để chọn thép.

Trường hợp có cặp a cho A_{ta1} lớn nhất còn một cặp khác, ví dụ cặp b, cho A_{pb1} lớn nhất (trong số các A_{pi1}) thì tiếp tục tính với hai cặp đó, sau sẽ xử lý với các cặp còn lại. Hai cặp được xét thường có ít nhất một cặp được tính theo nén lệch tâm lớn.

Để dễ theo dõi, cho rằng cả hai cặp đều chịu mômen dương, A_p đóng vai trò cốt chịu nén A', A_t chịu kéo (hoặc nén ít). Kết quả tính lần thứ nhất cho $A_{ta1} > A_{tb1}$ và $A'_{pa1} < A'_{pb1}$ (thêm dấu phẩy vào A_p để nói rằng đó là cốt thép luôn luôn chịu nén).

a) Trường hợp cặp a nén lệch tâm bé

Cốt thép của cặp a không thể thay đổi, chỉ có thể thay đổi cốt thép cặp b (nén lệch tâm lớn). Xem lại khi tính cặp b đã dùng x bằng bao nhiêu. Khi đã lấy $x = \xi_R h_0$ thì ngừng tính toán và dùng ngay A_{ta1} và A'_{pb1} để chọn cốt thép. Nếu đã lấy $x < \xi_R h_0$ thì xóa bỏ kết quả, tính lại cặp b nhưng vẫn xem như tính lần thứ nhất, với $x = \xi_R h_0$, lúc này A'_{pb} vẫn lớn nhất thì ngừng tính toán, còn nếu lại phát hiện có cặp c nào đó mà A'_{pc1} là lớn hơn thì tiếp tục xử lý với cặp c như đã làm với cặp b.

b) Trường hợp cả hai cặp a, b đều nén lệch tâm lớn.

Tính lần thứ nhất có $A_{ta1} > A_{tb1}$ và $A'_{pa1} < A'_{pb1}$.

Tính cặp a lần thứ hai với $A'_{pa2} = A'_{pb1}$ sẽ được giá trị $A_{ta2} < A_{ta1}$. So sánh A_{ta2} với A_t của các cặp còn lại, nếu A_{ta2} vẫn lớn nhất thì dừng tính toán và chọn cốt thép theo A_{ta2} và A_{pa2}. Nếu phát hiện thấy có một cặp c nào đó mà $A_{tc1} > A_{ta2}$ thì tiếp tục tính toán với cặp c như đã làm với cặp a.

2.6.2.3. Trường hợp các cặp mômen khác chiều

Tính toán cốt thép không đối xứng cho nhiều cặp nội lực có mômen khác chiều, trước hết cần tính toán cốt thép không đối xứng cho tất cả các cặp.

Khi có một cặp nào đó mà cả A_t và A_p đều lớn nhất thì dừng tính toán. Nếu không có cặp nào như thế thì trong các cặp mômen cùng chiều chọn ra một cặp đại diện để so sánh. Thí dụ chọn được cặp a chịu mômen dương, cặp c chịu mômen âm. Khi mà cả A_t và A_p của cặp này đều lớn hơn cặp kia thì loại bỏ cặp có cốt thép bé, chọn một cặp khác có mômen cùng chiều với cặp có cốt thép lớn để tính toán theo mục 2.6.2.2.

Khi mà mỗi cặp có cốt thép ở một phía lớn hơn của cặp kia thì tính toán theo các trường hợp sau:

a) Trường hợp cả hai cặp đều nén lệch tâm bé thì dừng tính toán, mỗi phía chọn theo cốt thép lớn nhất của phía đó.

b) Trường hợp một cặp nén lệch tâm lớn (thí dụ cặp a), cặp kia nén lệch tâm bé. Chỉ có thể thay đổi cốt thép của nén lệch tâm lớn. Khi cốt thép chịu kéo của nén lệch tâm lớn là bé hơn mà khi tính toán đã dùng $x = \xi_R h_0$ thì dừng tính toán. Nếu khi tính toán dùng $x < \xi_R h_0$ thì cần tăng x, tính lại để giảm cốt thép chịu nén và tăng cốt thép chịu kéo. Tùy theo kết quả tính lại này mà xử lý, dừng tính toán hoặc tính với cặp khác.

c) Trường hợp một cặp nén lệch tâm lớn, cặp kia nén lệch tâm bé mà cốt thép chịu kéo của nén lệch tâm lớn lại lớn hơn cốt thép cùng phía của nén lệch tâm bé thì cần tính lại với cặp nén lệch tâm lớn.

Thí dụ cặp a chịu mômen dương, nén lệch tâm lớn, cặp c chịu mômen âm nén lệch tâm bé mà:

$$A_{ta1} > A'_{tc1} \text{ còn } A'_{pa1} < A_{pc1}$$

Tính lại cặp a lần thứ hai với $A'_{pa2} = A_{pc1}$ sẽ được $A_{ta2} < A_{ta1}$. Tùy theo kết quả tính lần hai mà xử lý, khi A_{ta2} vẫn là lớn nhất trong các A_{ti} thì dừng tính toán. Nếu có một cặp d nào đó mà $A_{td} > A_{ta2}$ thì lại đem cặp ấy ra để so sánh và tính lại.

d) Trường hợp cả hai cặp đều nén lệch tâm lớn.

Lúc này các lần tính có thể nhiều hơn và tiến hành theo phương pháp tính lặp.

2.6.2.4. Phương pháp tính lặp

Phương pháp tính lặp (hoặc tính vòng) cho hai cặp a, c nén lệch tâm lớn có mômen khác chiều, cốt thép không đối xứng mà trong lần tính thứ nhất mỗi cặp có cốt thép ở một phía lớn hơn của cặp kia. Cốt thép ở mỗi phía là chịu nén của cặp này và chịu kéo của cặp kia. Xét hai trường hợp sau:

a) Trường hợp 1. Cốt thép chịu nén lớn hơn.

Lúc này cần xem khi tính toán đã lấy x như thế nào. Nếu đã lấy $x = \xi_R h_0$ thì dừng tính toán. Nếu đã lấy $x < \xi_R h_0$ thì tăng x đến $\xi_R h_0$ rồi tính lại. Sau khi tính lại mà cốt thép phía chịu nén vẫn lớn hơn thì dừng tính toán còn nếu xảy ra cốt thép chịu kéo lớn hơn thì tính tiếp theo trường hợp 2.

b) Trường hợp 2. Cốt thép chịu kéo lớn hơn.

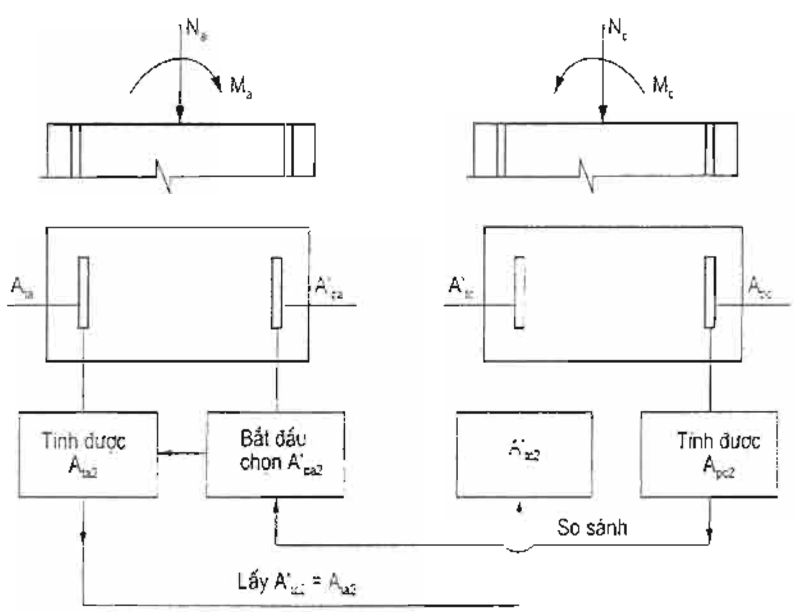
Thí dụ cặp a chịu mômen dương, A_{ta} chịu kéo còn cặp c chịu mômen âm, A_{pc} chịu kéo. Xảy ra:

$$A_{ta1} > A'_{tc1} \text{ và } A'_{pa1} < A_{pc1}$$

Tính lần thứ hai nên bắt đầu bằng cặp có cốt thép chịu kéo lớn nhất (thí dụ $A_{ta1} > A_{pc1}$) và tính cốt thép chịu kéo (A_{ta2}) khi đã chọn trước cốt thép chịu nén A'_{pa2}. Chọn A'_{pa2} như sau:

$A'_{pa1} < A'_{pa2} \leq A_{pc1}$. Nên chọn: $A'_{pa2} \geq 0,5\ (A'_{pa1} + A_{pc1})$. Biết cốt thép chịu nén A'_{pa2} tính ra cốt thép chịu kéo A_{ta2}. Nếu $A_{ta2} < A'_{tc1}$ thì dừng tính toán. Việc tính lặp chỉ tiến hành khi $A_{ta2} > A'_{tc1}$.

Tính lần hai cho cặp c bằng cách chọn trước cốt thép chịu nén $A'_{tc2} = A_{ta2}$, tính được cốt thép chịu kéo A_{pc2}. So sánh A_{pc2} với A'_{pa2}. Sơ đồ tính toán một vòng thể hiện trên hình 2.18.



Hình 2.18. Sơ đồ một vòng tính lặp

Khi xảy ra $A_{pc2} \leq A'_{pa2}$ thì dừng.

Nếu $A_{pc2} > A'_{pa2}$ tiếp tục tính toán lần thứ ba với A'_{pa3} được chọn trước trong khoảng $A'_{pa2} < A'_{pa3} \leq A_{pb2}$. Với A'_{pa3} đã chọn tiếp tục tính toán một vòng mới cho đến khi tìm được A_{pc3} để so sánh với A'_{pa3}. Nếu kết quả chưa được như mong muốn thì tính tiếp vòng thứ 4, thứ 5. Tính như thế đến vòng thứ k (có thể k = 2; 3 là đủ) khi A_{pck} có giá trị gần bằng A_{pak} thì dừng.

2.6.3. Nhận xét về phương pháp tính

Khi cần tính toán cốt thép cho một tiết diện chịu nhiều cặp nội lực khác nhau thì dùng phương pháp tính cốt thép đối xứng là đơn giản hơn. Càng đơn giản hơn nữa nếu dùng được họ biểu đồ tương tác không thứ nguyên.

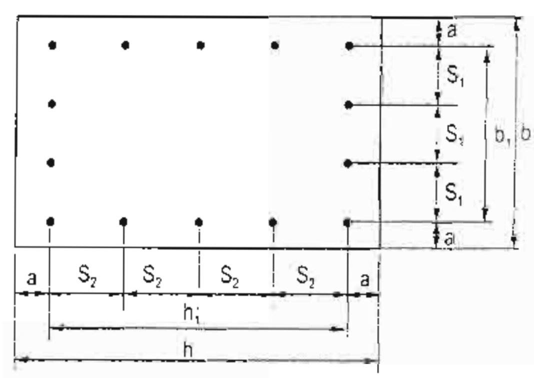
Việc tính cốt thép không đối xứng với nhiều cặp nội lực nhằm sử dụng cốt thép một cách tiết kiệm, hợp lý trong nhiều trường hợp là khá phức tạp và mang tính lý thuyết nhiều hơn. Để có thể vận dụng trong thực tế nên và cần lập các chương trình phần mềm, sử dụng máy tính.

2.7. TIẾT DIỆN CÓ CỐT THÉP ĐẶT THEO CHU VI

2.7.1. Đại cương về việc đặt cốt thép theo chu vi

Trong những phần trước đây đã trình bày cách tính toán cho trường hợp cốt thép chịu lực được đặt tập trung theo cạnh b có diện tích A'_s, A'_s (hoặc A_t, A_p). Khi cạnh h là khá lớn, theo yêu cầu cấu tạo, dọc theo cạnh h cần đặt thêm cốt thép dọc nhưng chỉ xem là cốt cấu tạo mà không kể vào trong tính toán.

Tiết diện có cốt thép đặt theo chu vi là khi cốt thép chịu lực được đặt phân ra tương đối đều trên cả cạnh b và cạnh h và thường đặt đối xứng theo hai trục (hình 2.19). Gọi s_1 và s_2 là khoảng cách giữa các trục thanh cốt thép theo cạnh b và cạnh h. Khi dùng các thanh cùng đường kính ϕ và $s_1 = s_2$ có trường hợp đặt cốt thép đều theo chu vi.



Hình 2.19. Tiết diện có cốt thép đặt theo chu vi

Thường chỉ có thể đặt cốt thép đều trong tiết diện hình vuông hoặc tiết diện chữ nhật mà b_1, h_1 là bội số của khoảng cách s. Khi đặt không đều thì nên tạo ra mật độ cốt thép theo cạnh b lớn hơn theo cạnh h bằng cách dùng $s_1 < s_2$ hoặc chọn đường kính cốt thép đặt theo cạnh b lớn hơn.

Xét về mặt chịu lực, khi nén lệch tâm phẳng thì việc đặt thép theo chu vi ít hiệu quả hơn so với việc đặt thép tập trung dọc cạnh b. Tuy vậy khi kích thước tiết diện khá lớn, số lượng cốt thép khá nhiều thì việc đặt cốt thép theo chu vi làm cho thi công đơn giản hơn và không cần đặt thêm cốt thép cấu tạo. Hơn nữa khi cột có thể bị uốn theo hai phương thì việc đặt thép theo chu vi trở nên cần thiết.

2.7.2. Sơ đồ cốt thép và sơ đồ ứng suất

Tiết diện có kích thước b × h trong đó h là cạnh song song với mặt phẳng uốn. Cốt thép được bố trí thành từng lớp vuông góc với cạnh h lần lượt có diện tích là A_1, A_2,...A_n trong đó A_1 và A_n là hai lớp ngoài cùng đặt theo cạnh b với A_1 là cốt thép chịu kéo hoặc nén ít hơn, A_n là cốt thép chịu nén nhiều. Khoảng cách từ trọng tâm các lớp cốt thép đến trọng tâm tiết diện là y_i. Lấy dấu của y_i là dương khi cốt thép ở khác phía với lực nén N đặt lệch tâm, y_i là âm khi ở cùng phía (so với trọng tâm tiết diện). Gọi h_{oi} là khoảng cách từ trọng tâm cốt thép lớp thứ i đến mép vùng nén. Mọi h_{oi} đều dương (hình 2.20).

Để lập sơ đồ ứng suất, dùng các cơ sở và giả thiết đã nêu ở mục 1.6. Sẽ là thuận tiện hơn khi theo quan điểm biến dạng, dùng giả thiết tiết diện phẳng để xác định biến dạng ε_i của các lớp cốt thép, từ ε_i suy ra ứng suất σ_i.

Gọi x_0 - khoảng cách từ trục trung hòa đến mép chịu nén;

x- chiều cao vùng nén tính đổi.

Khi tiết diện có một phần chịu kéo $x_0 < h$, lấy $x = \theta h$ ($\theta = 0,85$).

Khi toàn bộ tiết diện chịu nén, $x_0 \geq h$. lấy x theo công thức (1-22) có thể tính toán ε_i và σ_i theo các công thức (1-24) và (1-25).

Tiêu chuẩn TCXDVN 356 - 2005 đưa ra công thức thực nghiệm để xác định σ_i:

$$\sigma_i = \frac{\sigma_{sc,u}}{1 - \frac{\omega}{1.1}}\left(\frac{\omega}{\xi_i} - 1\right) + \sigma_{spi} \tag{2-54}$$

σ_{spi} - ứng suất trước trong cốt thép, với cốt thép thường $\sigma_{spi} = 0$.

$\sigma_{sc,u}$ - ứng suất giới hạn của cốt thép ở vùng chịu nén, với cấu kiện làm từ bêtông nặng, bêtông hạt nhỏ, bêtông nhẹ giá trị σ_s được lấy như sau:

- Với tải trọng ở mục 2a của phụ lục 1 lấy $\sigma_{sc,u} = 50MPa$
- Với tải trọng ở mục 2b, lấy $\sigma_{sc,u} = 400MPa$.

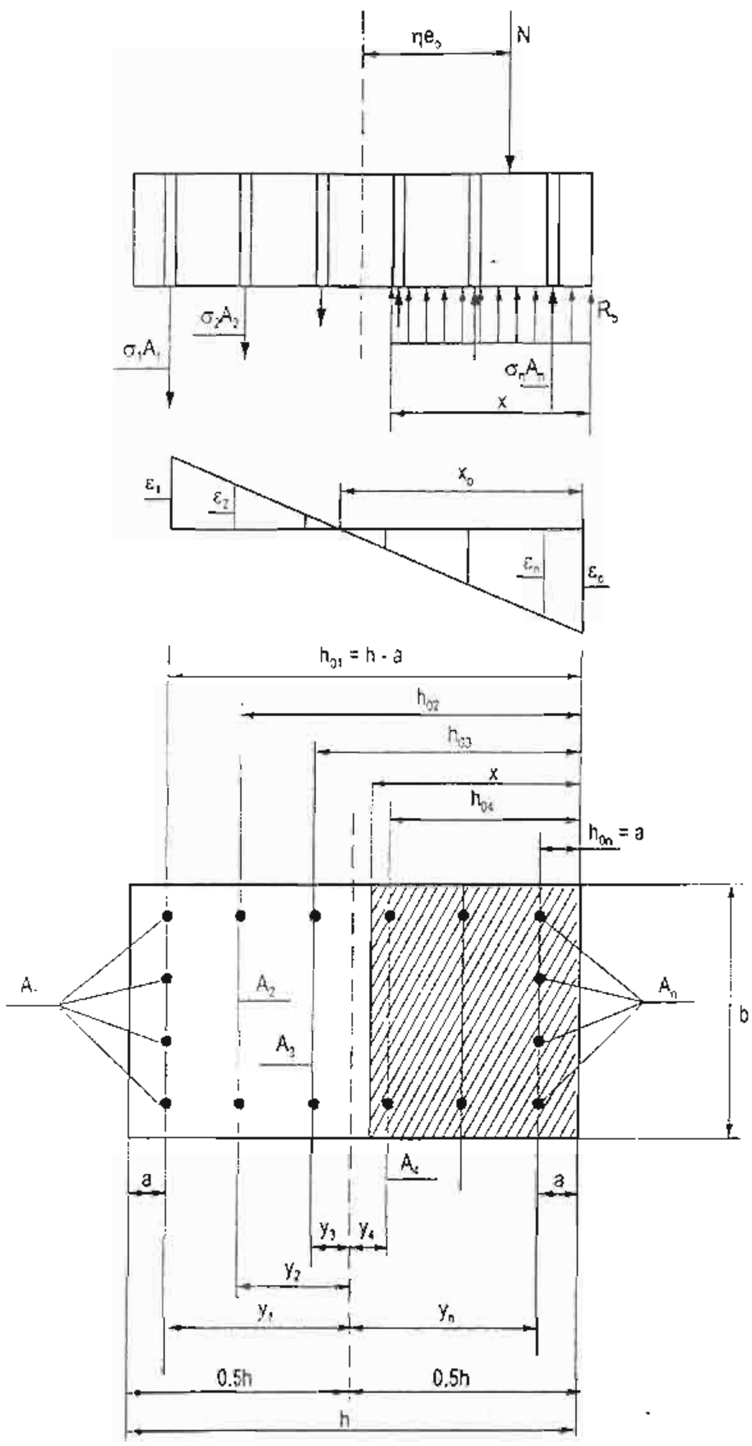
$$\omega = \alpha - 0.008R_b$$

Lấy $\alpha = 0,85$ đối với bêtông nặng, $\alpha = 0,8 \div 0,75$ đối với bêtông hạt nhỏ (xem phụ lục 4).

$\xi_i = \frac{x}{h_{oi}}$. Chiều cao tương đối vùng chịu nén của bêtông.

Theo công thức (2-54) tính được $\sigma_i > 0$ là ứng suất kéo, $\sigma_i < 0$ là ứng suất nén. Giá trị của σ_i được lấy trong giới hạn $-R_{sc} \leq \sigma_i \leq R_s$.

Theo TCXDVN 356 : 2005 nếu giá trị σ_i tính theo công thức (2-54) đối với cốt thép nhóm CIV, AIV, AV, AVI, AT VII mà vượt quá βR_{si} thì phải tính lại theo chỉ dẫn của tiêu chuẩn (công thức 68, điều 6.2.2.19).



Hình 2.20. Sơ đồ ứng suất, biến dạng và tiết diện có cốt thép đặt theo chu vi

2.7.3. Công thức tính toán cơ bản

Sơ đồ ứng suất đã lập ở hình 2.18 là tổng quát do đó không cần phân biệt nén lệch tâm là lớn hay bé, không cần các điều kiện $x \le \xi_R h_0$ và $x \ge 2a'$ như khi tính với tiết diện thông thường có cốt thép đặt tập trung theo cạnh b.

Lập công thức hình chiếu:

$$N = R_b\,bx - \Sigma\sigma_i\,A_i \qquad (2\text{-}55)$$

Công thức mômen:

$$M^* = N\eta e_0 = 0{,}5\,R_b bx(h - x) + \Sigma\sigma_i\,A_i y_i \qquad (2\text{-}56)$$

Hai phương trình (2-55) và (2-56) được dùng đồng thời với phương trình (2-54).

Việc vận dụng các công thức, phương trình vừa nêu để tính cốt thép là khá phức tạp vì phải chọn trước vị trí các lớp cốt thép để xác định y_i, h_{oi}, giả thiết quy luật phân bố diện tích các lớp cốt thép và thường phải dùng cách tính gần đúng dần. Để vận dụng trong thực tế thì lập và dùng họ biểu đồ tương tác không thứ nguyên là thuận lợi hơn cả.

2.7.4. Lập biểu đồ tương tác

Về nguyên tắc có thể lập biểu đồ cho mọi trường hợp đặt cốt thép bất kỳ, tuy vậy thông dụng hơn cả là trường hợp cốt thép đối xứng theo hai trục. Phương pháp dùng biến số trung gian x là thuận lợi.

Lập biểu đồ cho một cấu kiện cụ thể khi đã biết kích thước tiết diện và bố trí cốt thép bằng cách cho x thay đổi, ban đầu lấy $x = 0{,}1h$ rồi tăng dần từng cấp cho đến $x = h$. Với mỗi giá trị x tìm được một cặp N và M*. Với x khá bé có thể tính được $N < 0$, ứng với trường hợp kéo lệch tâm, không dùng các giá trị đó. Chỉ lấy số liệu để vẽ biểu đồ khi $N \ge 0$.

Tính thêm một giá trị nữa với nén đúng tâm ($M^* = 0$), lúc này $N = R_b bh + R_{sc}\Sigma A_i$. Khi có xét đến uốn dọc cần đưa thêm hệ số $\varphi \le 1$,

Thí dụ. Vẽ biểu đồ tương tác cho tiết diện ở hình 2.18 với các số liệu sau:

$b = 400$; $h = 800$mm; $l_0 = 6$m; bêtông có $R_b = 14{,}5$MPa; cốt thép 16 ϕ 22 có $R_s = 365$MPa; $E_s = 210.000$; $a = 40$mm. Số liệu về cốt thép ghi ở trong bảng:

Ký hiệu	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
Diện tích (mm^2)	1520	760	760	760	760	1520
y_i (mm)	360	216	72	-72	-216	-360
h_{oi} (mm)	760	616	472	328	184	40

Tính σ_i theo công thức (2.54) trong đó lấy $\sigma_{sc,u}$ = 400MPa.

$$\omega = \alpha - 0{,}008\, R_b = 0{,}85 - 0{,}008 \times 14{,}5 = 0{,}734.$$

$$\sigma_i = \frac{\sigma_{sc,u}}{1 - \frac{\omega}{1{,}1}}\left(\frac{\omega}{\xi_i} - 1\right) = \frac{400}{1 - \frac{0{,}734}{1{,}1}}\left(\frac{0{,}734}{\xi_i} - 1\right) = 1202\left(\frac{0{,}734}{\xi_i} - 1\right)$$

Đồng thời $- R_{sc} \le \sigma_i \le R_s$, như vậy $- 365 \le \sigma_i \le 365$.

x	A_1 h_{01} = 760		A_2 h_{02} = 616		A_3 h_{03} = 472		A_4 h_{04} = 328		A_5 h_{05} = 184		A_6 h_{06} = 40	
	ξ_1	σ_1	ξ_2	σ_2	ξ_3	σ_3	ξ_4	σ_4	ξ_5	σ_5	ξ_6	σ_6
80	×	365	×	365	×	365	×	365	0,434	365	2	-365
160	×	365	×	365	×	365	0,488	365	0,869	-186	×	-365
240	×	365	×	365	0,508	365	0,731	5	1,304	-365	×	-365
320	0,421	365	0,519	365	0,678	99	0,975	-297	1,739	-365	×	-365
400	0,526	365	0,649	157	0,847	-160	1,219	-365	×	-365	×	-365
480	0,631	196	0,779	-69	1,017	-334	1,463	-365	×	-365	×	-365
560	0,737	-5	0,909	-231	1,186	-365	×	-365	×	-365	×	-365
640	0,842	-154	1,039	-352	×	-365	×	-365	×	-365	×	-365
720	0,947	-270	1,168	-365	×	-365	×	-365	×	-365	×	-365
800	1,052	-363	1,298	-365	×	-365	×	-365	×	-365	×	-365

Chú thích: Những ô có đánh dấu × không cần tính toán ξ_i mà có thể lấy $\sigma_i = R_s$ hoặc $\sigma_i = -R_{sc}$.

x	A_1 = 1520 y_1 = 360		A_2 = 760 y_2 = 216		A_3 = 760 y_3 = 72		A_4 = 760 y_4 = -72		A_5 = 760 y_5 = -216		A_6 = 1520 y_6 = - 360	
	σA 10^3	σAy 10^6	σA 10^3	σAy 10^6	σA 10^3	σAy 10^6	σA 10^3	σAy 10^6	σA 10^3	σAy 10^6	σA 10^3	σAy 10^6
80	554	199	277	59,8	277	19,9	277	-19,9	277	-59,8	-554	199
160	554	199	277	59,8	277	19,9	277	-19,9	-141	30,4	-554	199
240	554	199	277	59,8	277	19,9	4	-0,3	-277	59,8	-554	199
320	554	199	277	59,8	75	5,4	-225	16,2	-277	59,8	-554	199
400	554	199	119	25,7	-121	-8,7	-277	19,9	-277	59,8	-554	199
480	298	107	-52	-11,2	-253	-18,2	-277	19,9	-277	59,8	-554	199
560	-7	-2,5	-175	-37,8	-277	-19,9	-277	19,9	-277	59,8	-554	199
640	-234	-84	-267	-57,6	-277	-19,9	-277	19,9	-277	59,8	-554	199
720	-410	-147	-277	-59,8	-277	-19,9	-277	19,9	-277	59,8	-554	199
800	-551	-198	-277	-59,8	-277	-19,9	-277	19,9	-277	59,8	-554	199

x	R_bbx 10^3	$\Sigma\sigma A$ 10^3	N 10^3	$0,5R_bbx(h-x)$ 10^6	$\Sigma\sigma Ay$ 10^6	M^* 10^6
80	464	1108	-644	167	398	565
160	928	967	-39	297	488	785
240	1392	281	1111	389	537	926
320	1856	-150	2006	445	539	984
400	2320	-556	2876	464	495	959
480	2784	-1115	3899	460	356	816
560	3248	-1567	4815	389	218	607
640	3712	-1886	5598	297	117	414
720	4176	-2072	6248	188	52	240
800	4640	-2213	6853	0	1	1

Với $M^* = 0$, cột chịu nén đúng tâm. lúc này phải kể đến uốn dọc theo phương yếu nhất.

Bán kính quán tính bé nhất i = 0.288 ×400 = 115mm

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{6000}{115} = 52,2 > 28 \text{, cần kể uốn dọc}$$

$$\varphi = 1,028 - 0,0000288 \times 52,2^2 - 0,0016 \times 52,2 = 0,866$$

Tính N_0 theo công thức (1-6):

$$N_0 = \varphi(R_bA_b + R'_sA_{st}) = 0,866\ (14,5 \times 400 \times 800 + 365 \times 6080) = 5940000 \text{ Niu.}$$

Lấy giá trị của N không quá 5940 kN.

Trong kết quả tính toán có 1 số N < 0, chịu kéo lệch tâm. bỏ các số liệu đó. Ứng với N = 0 tính được $M^* = 790$ kNm. Kết quả để vẽ biểu đồ ghi trong bảng sau:

N	0	1111	2006	2876	3899	4815	5598	5940
M^*	790	926	984	959	816	607	414	0

2.7.5. Họ biểu đồ không thứ nguyên

Họ biểu đồ được lập cho tiết diện có kích thước b, h bất kỳ và tỷ lệ cốt thép $\mu_s = \frac{A_{st}}{bh}$ bất kỳ với A_{st} là diện tích toàn bộ cốt thép dọc.

Tuy vậy cần dự kiến bố trí các lớp cốt thép để xác định các giá trị $\delta = \frac{a}{h}; \gamma_i = \frac{h_{oi}}{h}; \beta_i = \frac{y_i}{h}$. Diện tích mỗi lớp cốt thép là $A_i = k_i A_{st} = \mu_i bh$ với $\mu_i = k_i\mu_s$.

Như cách thể hiện trên hình 2-18 thì $A_{st} = 16\phi$; $A_1 = A_6 = 4\phi$ do đó $k_1 = k_6 = \frac{4}{16} = 0,25$

$$A_2 = A_3 = A_4 = A_5 = 2\phi;\ k_2 = k_3 = k_4 = k_5 = 0{,}125;$$

Đặt : $$n = \frac{N}{R_b bh}; \qquad m = \frac{M^*}{R_b bh^2} = \frac{N\eta e_0}{R_b bh^2}$$

$$\xi = \frac{x}{h}; \xi_i = \frac{x}{h_{0i}} = \frac{\xi}{\gamma_i}$$

Đặt $\rho_i = \dfrac{\sigma_i}{R_b}$. Dùng công thức (2-54) biến đổi thành:

$$\rho_i = \frac{\sigma_{sc,u}}{R_b\left(1 - \dfrac{\omega}{1,1}\right)}\left(\frac{\omega}{\xi}\gamma_i - 1\right)$$

Đồng thời $-\dfrac{R_{sc}}{R_b} \le \rho_i \le \dfrac{R_s}{R_b}$

Dùng công thức (2-55) và (2-56) biến đổi thành:

$$n = \xi - \Sigma\rho_i\mu_i \tag{2-57}$$

$$m = 0{,}5\xi(1 - \xi) + \Sigma\rho_i\mu_i\beta_i \tag{2-58}$$

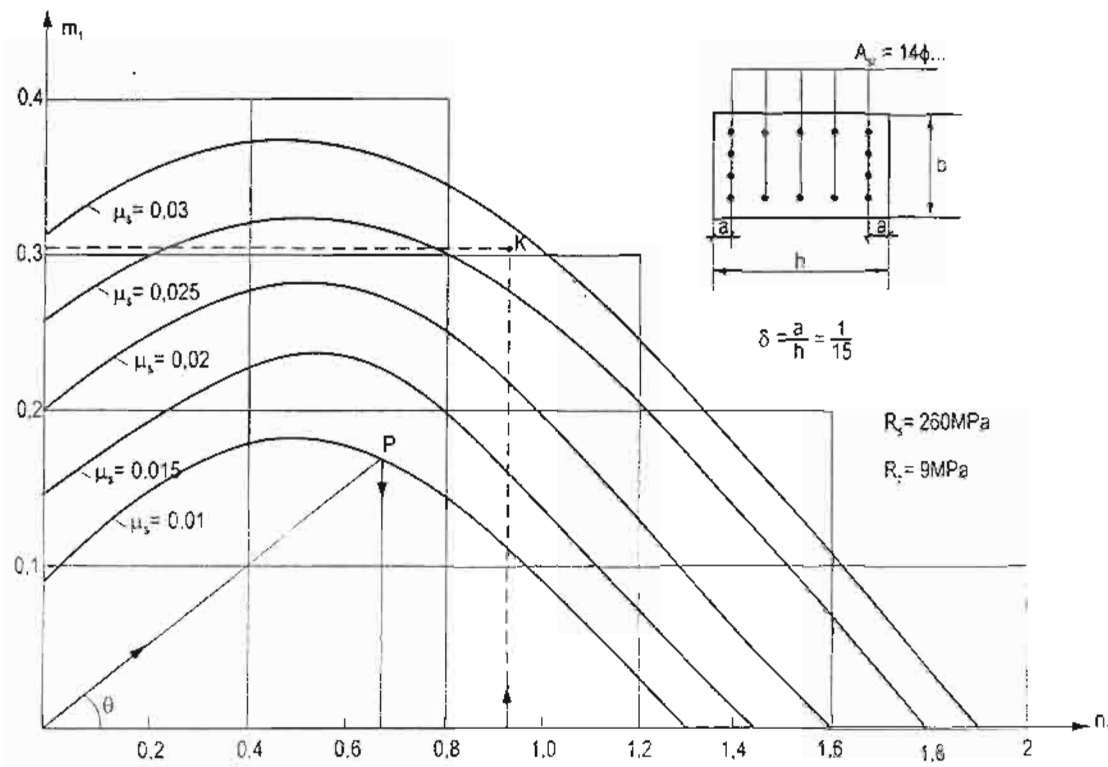
Với các giá trị ξ khá bé tính ra được $n < 0$. Bỏ qua các giá trị đó. Ứng với $\xi = 1$, tính theo nén đúng tâm, $m = 0$ và $n = 1 + \dfrac{R_{sc}}{R_b}\mu_s$.

Mỗi biểu đồ được lập với một kiểu bố trí cốt thép thể hiện qua các hệ số k_i và các thông số δ; R_s; R_b. Với δ đã có sẽ tính ra các giá trị γ_i; β_i. Với một giá trị μ_s đã chọn cho ξ thay đổi từng cấp sẽ tính toán và vẽ được một biểu đồ. Cho μ_s các giá trị khác nhau sẽ có một họ biểu đồ. Hình 2.21 giới thiệu một họ biểu đồ như vậy.

Vận dụng họ biểu đồ có thể để kiểm tra khả năng chịu lực hoặc để tính toán cốt thép. Trong các bài toán kiểm tra thì khi biết ηe_0 cần tìm lực N là khá phổ biến trong việc tính toán cấu kiện chịu nén lệch tâm xiên sẽ trình bày ở chương 5. Thí dụ theo hình 2.21, tiết diện có $\mu_s = 0{,}01 = 1\%$. Với $tg\theta = \dfrac{\eta e_0}{h} = 0{,}25$, tìm N?

Kẻ đường xiên góc θ mà $tg\theta = 0{,}25$ với chú ý tỷ lệ trên hai trục là khác nhau. Giá trị 0,25 là tỷ lệ giữa tung độ và hoành độ. Đường xiên cắt biểu đồ có $\mu_s = 1\%$ tại điểm P, gióng xuống tìm thấy $n = 0{,}65$ từ đó tính được $N = nR_b bh$.

Để tính toán cốt thép, từ n và m tìm được điểm K nằm giữa hai đường với μ_s cho trước. Nội suy được μ_s cần thiết và tính:



Hình 2.21. Họ biểu đồ tương tác không thứ nguyên của tiết diện có cốt thép đặt theo chu vi

$$A_{st} = \mu_s bh \qquad (2\text{-}59)$$

Thí dụ.

Tiết diện b = 400mm, h = 600mm, bêtông có $R_b = 9$; cốt thép có $R_s = 260$MPa. N = 2000kN; M = 340 kNm. Chiều dài tính toán của cột $l_0 = 5{,}4$m. Yêu cầu tính toán cốt thép đặt theo chu vi.

Giả thiết: a = 40mm, $\delta = \dfrac{a}{h} = \dfrac{40}{600} = \dfrac{1}{15}$

Xét uốn dọc: $\dfrac{l_0}{h} = \dfrac{5400}{600} = 9 > 8$

$$J = \frac{bh^3}{12} = \frac{400 \times 600^3}{12} = 72 \times 10^5 \, mm^2$$

Ứng với $R_b = 9$ có $E_b = 24000$MPa.

$$N_{th} = \frac{2{,}5E_bJ}{l_0^2} = \frac{2{,}5 \times 24000 \times 72 \times 10^8}{5400^2} = 14800 \times 10^3 \, \text{Niu}$$

$$\eta = \frac{1}{1-\frac{N}{N_{th}}} = \frac{1}{1-\frac{2000}{14800}} = 1,15$$

$e_1 = \frac{M}{N} = \frac{340}{2000} = 0,17m = 170mm$. Độ lệch tâm ngẫu nhiên e_a.

$e_a \geq \left(\frac{5400}{600};\frac{600}{30}\right) = 20mm$. Cấu kiện thuộc kết cấu siêu tĩnh $e_0 = \max(e_1, e_a) = 170mm$.

$$\eta e_0 = 1,15 \times 0,17 = 0,195m = 195mm$$

$$n = \frac{N}{R_b bh} = \frac{2000 \times 1000}{9 \times 400 \times 600} = 0,926$$

$$m = \frac{N\eta e_0}{R_b bh^2} = \frac{2000000 \times 195}{9 \times 400 \times 600^2} = 0,301$$

Dự kiến dùng 14 thanh cốt thép đặt theo chu vi như trên hình 2.21. Với $\delta = \frac{1}{15}$; $R_s = 260$; $R_b = 9$, tra biểu đồ với n = 0,926; m = 0,301 có được điểm K nằm giữa hai biểu đồ với $\mu_s = 0.025$ và 0,03. Nội suy có $\mu_s = 0,028$.

$$A_{st} = 0,028 \times 400 \times 600 = 6720mm^2$$

Bố trí 14 thanh, diện tích mỗi thanh: $\frac{6720}{14} = 480mm^2$. Chọn dùng cốt thép ϕ25 có diện tích $491mm^2$ (hình 2.23).

Chú ý rằng họ biểu đồ ở hình 2.21 mang nhiều tính tượng trưng, chưa đủ độ chính xác để dùng cho thiết kế thực tế. Ở phụ lục 9 cho một số biểu đồ có thể dùng được.

2.7.6. Phương pháp gần đúng xác định N

Khi biết độ lệch tâm ηe_0 cần xác định N mà không có biểu đồ tương tác phù hợp để dùng thì có thể tính toán như sau:

Tính ước chừng chiều cao vùng nén x theo công thức (2-60):

$$x = (0,5h - \eta e_0) + \sqrt{(0,5h - \eta e_0)^2 + \frac{0,8R_s A_{st}(h-2a)}{R_b b}} \qquad (2\text{-}60)$$

Lấy hai giá trị x để tính toán là x_1 và x_2 với $x_1 = x + \alpha_1 h$; $x_2 = x + \alpha_2 h$. Giá trị α_1, α_2 lấy phụ thuộc vào tỷ số x/h theo bảng sau:

x/h	≤ 0,1	0,1 ÷ 0,2	0,2÷0,3	0,3÷0,4	0,4÷0,5	0,5÷0,6	0,6÷0,7	0,7÷0,8	0,8÷0,9	≥ 0,9
α_1	0,1	0,05	0	-0,05	-0,1	-0,15	-0,2	-0,25	-0,3	-0,35
α_2	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05	0	-0,05	-0,10	-0,15	-0,2

Ứng với mỗi x đã chọn, tính toán σ_i của các lớp cốt thép theo công thức (2-54). Từ đó tính hai giá trị của N là N_1 và N_2. Tính N_1 theo công thức (2-55) đã lập:

$$N_1 = R_b bx - \Sigma\sigma_i A_i$$

Tính N_2 theo công thức (2-61) rút ra từ (2-56):

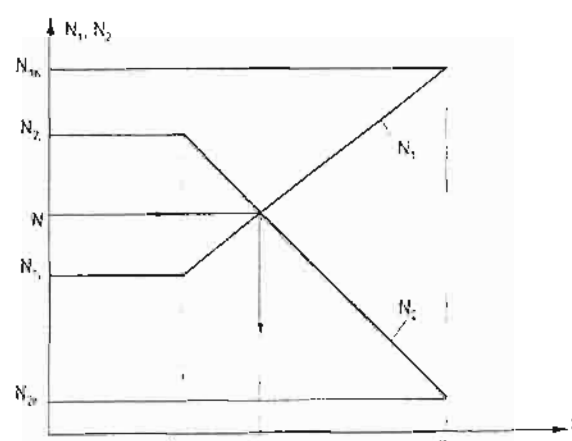
$$N_2 = \frac{M^*}{\eta e_0} = \frac{0,5R_b bx(h-x) + \sum \sigma_i A_i y_i}{\eta e_0} \qquad (2\text{-}61)$$

Với hai giá trị x tìm được hai cặp N_1, N_2 như vậy. Ghi kết quả vào bảng sau:

x	x_1	x_2
N_1	N_{11}	N_{12}
N_2	N_{21}	N_{22}

Có thể xác định N gần đúng bằng đồ thị hoặc bằng tính toán. Vẽ đồ thị N_1 và N_2 theo x. Điểm cắt nhau của hai đồ thị cho biết giá trị của N (hình 2.22).

Với hai giá trị của x như đã chọn khả năng hai đồ thị N_1 và N_2 cắt nhau là rất lớn. Nếu chúng vẫn chưa cắt nhau thì cần phán đoán để chọn thêm một giá trị x mới ngoài hai giá trị đã có.



Hình 2.22. Đồ thị xác định giá trị N

Cũng có thể lập công thức để tính toán N dựa trên các số liệu N_1, N_2 đã có. Trước hết cần biết khoảng x_j, x_k mà trong khoảng đó hai đồ thị cắt nhau. Tiêu chí để nhận biết là : $N_{2j} < N_{1j}$ trong khi $N_{2k} < N_{1k}$ (hoặc ngược lại).

$$N = \frac{N_{1j}(N_{2k} - N_{2j}) - N_{2j}(N_{1k} - N_{1j})}{N_{1j} + N_{2k} - N_{2j} - N_{1k}} \qquad (2\text{-}62)$$

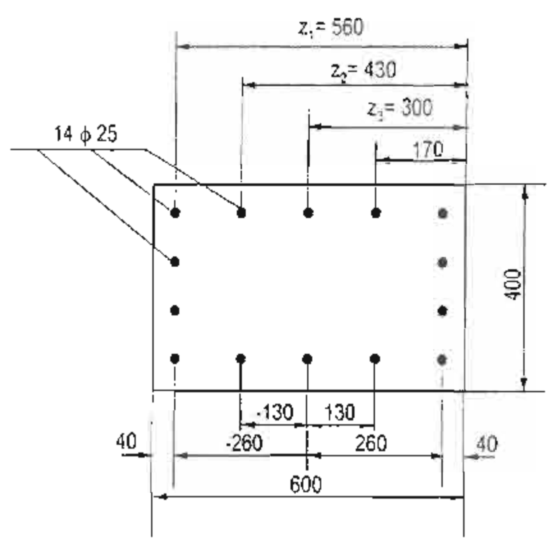
Thực chất của phương pháp vừa trình bày cũng là phương pháp vẽ biểu đồ tương tác nhưng không vẽ toàn bộ biểu đồ mà chỉ tính toán cho một đoạn với hai điểm. Tính chất gần đúng ở công thức (2-62) là xem ở trong đoạn đang xét sự thay đổi của N_1 và N_2 theo quy luật đường thẳng.

Thí dụ. Lấy kết quả của thí dụ ở mục 2.7.5. Yêu cầu xác định lực N khi cho ηe_0 = 195mm; $R_b = 9$; $R_s = 260$MPa.

Tiết diện thể hiện trên hình 2.23. Các số liệu về cốt thép dùng để tính toán ghi ở bảng sau:

Ký hiệu	Cấu tạo	Diện tích	y_i	Z_i
A_1	4ϕ25	1964	260	560
A_2	2ϕ25	982	130	430
A_3	2ϕ25	982	0	300
A_4	2ϕ25	982	-130	170
A_5	4ϕ25	1964	-260	40

$$A_{st} = \Sigma A_i = 14\phi 25 = 6874\text{mm}^2.$$



Hình 2.23. Tiết diện đặt thép theo chu vi

Tính x theo công thức (2-60):

$$x = (300 - 195) + \sqrt{(300 - 195)^2 + \frac{0,8 \times 260 \times 6874 \times 520}{9 \times 400}} = 570\text{mm}$$

$\frac{x}{h} = \frac{570}{600} = 0,95$. Lấy hai giá trị của x là x_1 và x_2

$$x_1 = x + \alpha_1 h \text{ với } \alpha_1 = -0{,}35;\ x_1 = 570 - 0{,}35 \times 600 = 360\text{mm}$$

$$x_2 = x + \alpha_2 h = 570 - 0{,}2 \times 600 = 450\text{mm}$$

Tính σ_i theo công thức (2.54) với $\omega = 0{,}85 - 0{,}008 \times 9 = 0{,}778$

$$\sigma_i = \frac{\sigma_{sc,u}}{1 - \dfrac{\omega}{1,1}}\left(\frac{\omega}{\xi_i} - 1\right) = \frac{400}{1 - \dfrac{0,778}{1,1}}\left(\frac{0,778}{\xi_i} - 1\right) = 1366\left(\frac{0,778}{\xi_i} - 1\right)$$

$\xi_i = \dfrac{x}{h_{oi}}$. Đồng thời $-R_s \le \sigma_i \le R_s$, tức là: $-260 \le \sigma_i \le 260$.

Lớp cốt thép	$x_1 = 360$		$x_2 = 450$	
	ξ_i	σ_i	ξ_i	σ_i
A_1, $h_{01} = 560$	0,643	260	0,803	-42
A_2, $h_{02} = 430$	0,837	-97	1,046	-260
A_3, $h_{03} = 300$	1,0	-260	1,433	-260
A_4, $h_{04} = 170$	2,11	-260	2,53	-260
A_5, $h_{05} = 40$	9,0	-260	10,75	-260

Kết quả tính toán về lực:

x	$A_1 = 1964$ $y_2 = 260$		$A_2 = 982$ $y_2 = 130$		$A_3 = 982$ $y_3 = 0$		$A_4 = 982$ $y_4 = -130$		$A_5 = 1964$ $y_5 = -260$	
	σA 10^3	σAy 10^6	σA 10^3	σAy 10^6	σA 10^3	σAy 10^6	σA 10^3	σAy 10^6	σA 10^3	σAy 10^6
360	510	132,6	-95	-12,3	-255	0	-255	33,1	-510	132,6
450	-82,5	-21,4	-255	-33,1	-255	0	-255	33,1	-510	132,6

$$N_1 = R_b bx - \Sigma\sigma_i A_i y_i$$

$$N_2 = \frac{M^*}{\eta e_0} = \frac{0.5R_b bx(h - x) + \sum \sigma_i A_i y_i}{\eta e_0}$$

x	N_1	N_2
360 (j)	1901	2264
450 (K)	2977	1193

$$N = \frac{N_{1j}(N_{2K} - N_{2j}) - N_{2j}(N_{1K} - N_{1j})}{N_{1j} + N_{2K} - N_{2j} - N_{1K}}$$

$$N = \frac{1901(1193-2264)-2264(2977-1901)}{1901-1193-2264-2977} = 2083kN$$

Ghi chú: Trường hợp có biểu đồ tương tác thì việc xác định N sẽ đơn giản hơn. Biểu đồ phù hợp có các thông số sau: $R_b = 9$.

$R_s = 260$ MPa: $\frac{a}{h} = \frac{40}{600} = \frac{1}{15}$, cốt thép gồm 14ϕ được bố trí thành 5 hàng trong đó hàng thứ nhất (A_1) và hàng thứ 5 (A_5) có 4 ϕ, các hàng khác có 2ϕ. Họ biểu đồ ở hình 2.21 có các thông số phù hợp như vậy.

Giả thử biểu đồ ở hình 2.21 có được độ chính xác cần thiết thì cách tìm giá trị N như sau:

Tính $A_{st} = 14\phi25 = 6874mm^2$:

$$\mu_s = \frac{A_{st}}{bh} = \frac{6874}{400 \times 600} = 0.0286 = 2.86\%$$

$$tg\theta = \frac{\eta e_0}{h} = \frac{195}{600} = 0.325$$

Kẻ đường xiên góc với $tg\theta = 0.325$ gặp các biểu đồ:

Với $\mu_s = 0.025$ tìm được $n = 0.87$

$\mu_s = 0.030$ tìm được $n = 0.98$

Nội suy, với $\mu_s = 0.0286$ có $n = 0.94$

$$N = n.R_b bh = 0.94 \times 9 \times 400 \times 600 = 2030000$$

$$N = 2030kN$$

Kết quả có sai số so với tính toán (sai số do tính toán gần đúng và do độ chính xác của biểu đồ).

Chương 3

TIẾT DIỆN CHỮ T VÀ CHỮ I

3.1. ĐẠI CƯƠNG VỀ TIẾT DIỆN CHỮ T

- Tiết diện chữ T gồm có cánh và sườn (hình 3.1) với kí hiệu các kích thước như trên hình vẽ.

b - bề rộng sườn.;

B - bề rộng cánh;

c - bề dày (chiều cao) cánh;

h - chiều cao tiết diện (trong phương mặt phẳng uốn);

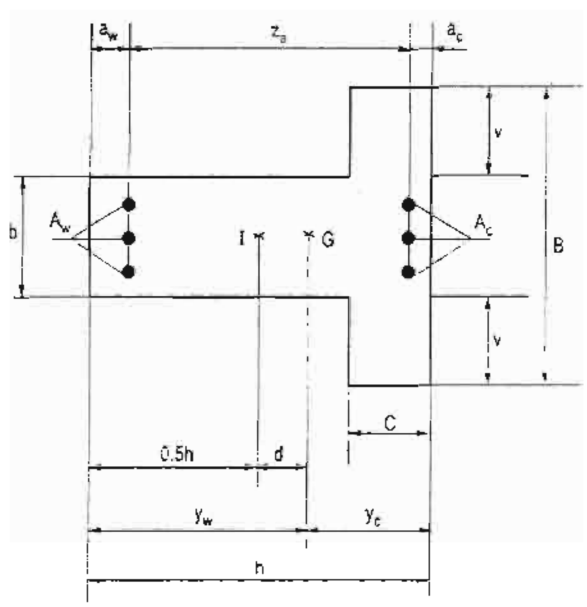
A_w, A_c - diện tích cốt thép đặt tập trung ở phần sườn (theo cạnh b) và ở phần cánh (theo cạnh B);

a_w, a_c - khoảng cách từ trọng tâm cốt thép A_w, A_c đến mép tiết diện gần nhất.

$Z_a = h - a_w - a_c$ – khoảng cách giữa trọng tâm A_w và A_c.

I - điểm giữa của tiết diện, cách đều hai mép một đoạn 0,5h;

G - trọng tâm hình học của tiết diện.



Hình 3.1. Tiết diện chữ T

Tiết diện có một trục đối xứng. Mômen uốn tác dụng trong mặt phẳng chứa trục đối xứng đó.

Tiết diện chữ T thường gặp là tiết diện của vòm với cánh là phần vỏ đúc liền khối với sườn. Trong khung của kết cấu nhà, cột có tiết diện chữ T có thể gặp trong một số trường hợp đặc biệt, hoặc là cột độc lập khi cần mở rộng ra hai bên, hoặc cột được đúc liền với tường của vách cứng, lõi cứng.

- Trường hợp cột độc lập thì bề rộng B được cấu tạo trong một phạm vi giới hạn nào đó còn khi cột được đúc liền với tường thì bề rộng của tường có thể là khá lớn, lúc này để lấy B đưa vào trong tính toán cần có một hạn chế nào đó.

$$B = b + 2v$$

Với dầm tiết diện chữ T đã có những quy định về độ vươn của cánh v được ghi trong các tiêu chuẩn thiết kế. Đối với cột có tiết diện chữ T các tiêu chuẩn còn ít đề cập đến. Sau đây đưa ra một vài giới hạn có tính chất tham khảo, do tác giả đề nghị.

Lấy $v \le \frac{1}{8}$ chiều cao của cột, đồng thời:

Khi $c \ge 0,15h$ lấy $v \le 4c$.

$0,1h \le c < 0,15h$ lấy $v \le 3c$.

$0,05h < c \le 0,1h$ lấy $v \le 2c$.

$c \le 0,05h$ lấy $v \le c$.

Diện tích tiết diện chữ T là A_T:

$$A_T = bh + (B - b)\,c$$

Trọng tâm hình học của tiết diện G cách mép cánh một đoạn y_c và cách mép sườn một đoạn y_w.

$$y_c = \frac{0,5bh^2 + 0,5(B-b)c^2}{A_T} \tag{3-1}$$

$$y_w = h - y_c$$

Trọng tâm G cách điểm giữa của tiết diện I một đoạn là d:

$$d = 0,5h - y_c \tag{3-2}$$

Mômen quán tính của tiết diện lấy đối với trục đi qua trọng tâm G và vuông góc với cạnh h là:

$$J = \frac{b}{3}(y_w^3 + y_c^3) + \frac{(B-b)c^3}{12} + (B-b)c(y_c - 0,5c)^2 \tag{3-3}$$

Bán kính quán tính i và độ mảnh λ:

$$i = \sqrt{\frac{J}{A_T}} \;\; ; \;\; \lambda = \frac{l_o}{i} \tag{3-4}$$

3.2. NỘI LỰC VÀ ĐIỀU KIỆN TÍNH TOÁN

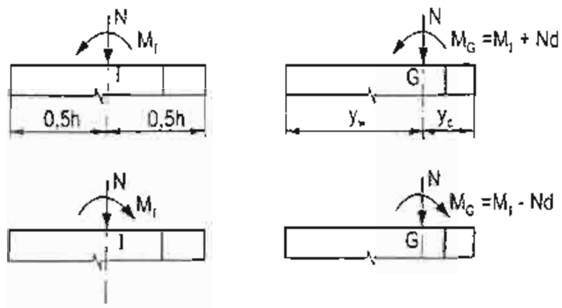
3.2.1. Nội lực

Nội lực để tính toán tiết diện chữ T cũng gồm lực nén N và mômen uốn M nhưng ở đây cần chú ý mômen M đã được lấy theo trục nào, trục đi qua điểm I hay trục đi qua điểm G (hình 3.2).

Gọi M_I - mômen uốn đối với trục qua I.

M_G - mômen uốn đối với trục qua G.

$$M_G = M_I \pm Nd \tag{3-5}$$



Hình 3.2: Nội lực để tính tiết diện chữ T

Trong công thức (3-5) lấy dấu (+) khi mômen làm cho cánh chịu kéo, dấu (−) khi mômen làm cho cánh chịu nén.

Trong khi tính toán kết cấu và tổ hợp nội lực cần chú ý là các mômen đã được tính theo trục qua I hoặc qua G.

Khi chuyển mômen từ M_I sang M_G thì có thể xảy ra là M_I và M_G cùng chiều hoặc khác chiều (M_I là dương nhưng M_G là âm). Thông thường, khi M_I và M_G cùng chiều thì trong tính toán, dù tính với M_I hay M_G cũng không có gì khác biệt, chỉ cần tính đúng giá trị độ lệch tâm e và e' (e và e' không thay đổi khi tính với M_I hoặc M_G). Khi M_I và M_G khác chiều thì phải đảo ngược phép tính vì nếu lấy theo chiều M_I (giả thử là mômen dương) thì cánh chịu nén còn theo chiều M_G (mômen âm) cánh trở thành chịu kéo.

Độ lệch tâm tĩnh học: $$e_1 = \frac{M_G}{N} \tag{3-6a}$$

Độ lệch tâm ban đầu e_o:

cấu kiện tĩnh định: $e_o = e_1 + e_a$

cấu kiện siêu tĩnh: $$e_o = \max(e_1, e_a) \tag{3-6b}$$

Với e_a là độ lệch tâm ngẫu nhiên (xem mục 1-5.2).

Khi xét ảnh hưởng của uốn dọc, độ lệch tâm từ e_o tăng lên thành ηe_o với $\eta \geq 1$ được xác định theo mục 1-5-3.

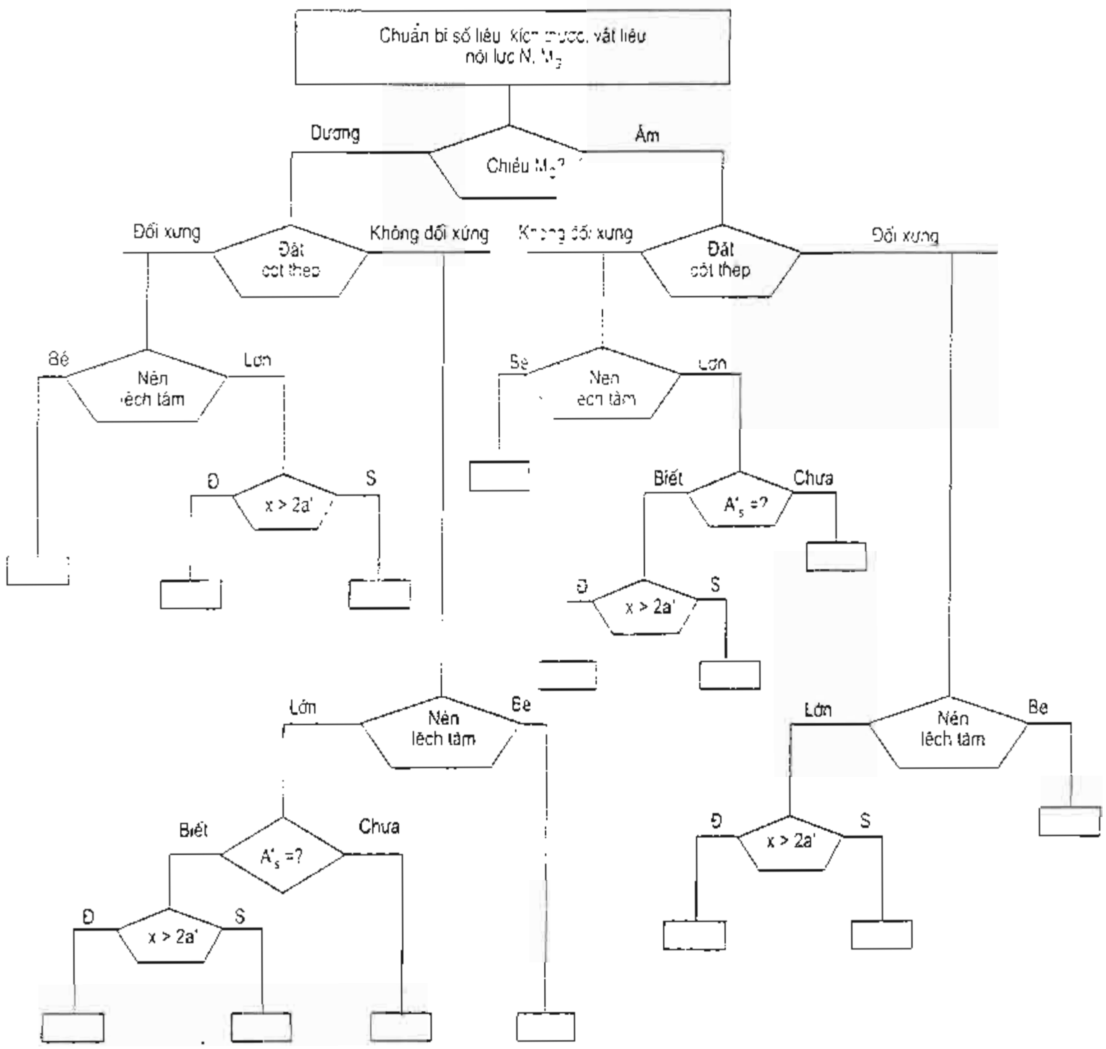
Khi $\lambda = \frac{l_o}{i} \leq 28$ bỏ qua uốn dọc, lấy $\eta = 1$. Với $\lambda > 28$ cần tính J theo công thức (3-3) tính N_{th} theo công thức (1.14) hoặc (1.16) tính η theo (1.11).

3.2.2. Các trường hợp tính toán

Tính toán tiết diện chữ T được phân thành hai trường hợp chính tuỳ theo chiều của M_G làm cho cánh bị nén hoặc bị kéo. Trong mỗi trường hợp chính lại phân thành các trường hợp nén lệch tâm bé, nén lệch tâm lớn và trường hợp đặc biệt. Để tính toán cốt thép còn phân biệt cốt thép đối xứng hoặc không đối xứng.

Sơ đồ phát triển của bài toán thể hiện ở hình 3.3.

Trên hình 3.3 đã phân biệt ra 14 trường hợp tính toán khác nhau, tuy vậy vẫn là chưa đủ. Khi cánh chữ T nằm trong vùng chịu nén còn cần phân biệt trường hợp trục trung hoà nằm trong cánh hoặc cắt qua sườn.



Hình 3.3. Sơ đồ bài toán tính tiết diện chữ T

3.2.3. Điều kiện tính toán

Tính toán tiết diện bêtông cốt thép theo trạng thái giới hạn về khả năng chịu lực cần tuân theo các điều kiện về độ bền ở (1.19) và (1.20) và các chỉ dẫn ở mục 1.6.1. Tương tự như đối với tiết diện chữ nhật, trục U để lấy mô men thường được chọn đi qua trọng tâm cốt thép A_w hoặc A_c và như vậy $M_u = Ne$ hoặc Ne'. Điều kiện (1.20) được cụ thể hoá thành:

$$Ne \le M_{1gh} \tag{3-7}$$

$$Ne' \le M_{2gh} \tag{3-8}$$

Trong đó:

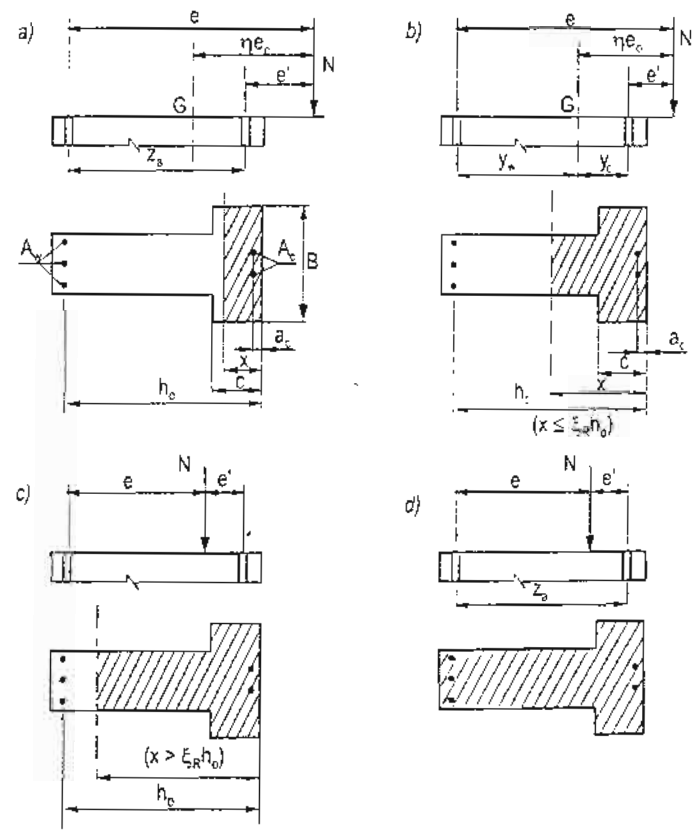
e - khoảng cách từ điểm đặt lực lệch tâm N đến trọng tâm cốt thép chịu kéo (hoặc nén ít);

e' - khoảng cách từ điểm đặt lực lệch tâm N đến trọng tâm cốt thép chịu nén (hoặc nén nhiều).

3.3. TIẾT DIỆN CÓ CÁNH BỊ NÉN

Phân biệt trường hợp cánh bị nén hay bị kéo dựa vào chiều tác dụng của mô men M_G.

3.3.1. Các trường hợp tính toán (hình 3.4)



Hình 3.4. Các trường hợp cánh bị nén

Tuỳ theo tương quan của vùng chịu nén mà có thể xảy ra:

a) Nén lệch tâm lớn khi $x \le \xi_R h_o$, trong đó còn có các trường hợp đặc biệt $x \le c$ (trục tung hoà nằm trong cánh và $x < 2a_c$ (a_c đóng vai trò a' là khoảng cách từ trọng tâm cốt thép chịu nén đến mép chịu nén của tiết diện).

b) Nén lệch tâm bé khi $x > \xi_R h_o$ với hai trường hợp: tiết diện có một phần lớn chịu nén (phần nhỏ chịu kéo) (hình 3.4c) và toàn bộ tiết diện chịu nén (hình 3.4d).

3.3.2. Công thức cơ bản

Trường hợp chung tính toán dựa vào điều kiện (3-7), trường hợp đặc biệt, dùng điều kiện (3-8) trong đó:

$$e = \eta e_o + y_w - a_w \tag{3-9}$$

Khi lực dọc đặt ra ngoài tiết diện thì:

$$e' = e - z_a = \eta e_o + a_c - y_c \tag{3-10}$$

3.3.2.1. Trường hợp trục trung hoà qua cánh

$$M_{1gh} = R_b Bx(h_o - 0.5x) + \sigma'_s A_c z_a \tag{3-11}$$

$$N = N_{gh} = R_b Bx - \sigma'_s A_c - \sigma_s A_w \tag{3-12}$$

Điều kiện là $x \le c$.

3.3.2.2. Trường hợp trục trung hoà qua sườn

$$M_{1gh} = R_b bx(h_o - 0.5x) + R_b(B - b)c(h_o - 0.5c) + \sigma'_s A_c z_a \tag{3-13}$$

$$N_{gh} = R_b bx + R_b(B - b)c + \sigma'_s A_c - \sigma_s A_w \tag{3-14}$$

3.3.2.3. Giá trị của σ_s và σ'_s

Khi thoả mãn $x \le \xi_R h_o$ thì $\sigma_s = R_s$;

Khi thoả mãn $x \ge 2a_c$ thì $\sigma'_s = R_{sc}$;

Khi đồng thời thoả mãn: $2a_c \le x \le \xi_R h_o$ điều kiện (3-14) trở thành (3-15):

$$N = R_b bx + R_b(B - b)c + R_{sc}A_c - R_s A_w \tag{3-15}$$

3.3.2.4. Giá trị σ_s và x khi nén lệch tâm bé

Khi $x > \xi_R h_o$ xảy ra nén lệch tâm bé, $\sigma_s < R_s$ và có thể là kéo hoặc nén. Lúc này, để xác định x có thể dùng phương trình (3-14) trong đó lấy quan hệ của x và σ_s theo công thức (1.23) hoặc (1.23a), viết lại dưới đây (3-16).

$$\sigma_s = \left(1 - \frac{2(x - \xi_R h_o)}{h - \xi_R h_o}\right) R_s \quad \text{(3-16) (1.23a)}$$

$$\sigma_s = \left(2\frac{1 - x/h_o)}{1 - \xi_R} - 1\right) R_s \quad \text{(3-16) (1.23)}$$

Cũng có thể dùng công thức thực nghiêm để xác định x:

$$x = \left[\xi_R + \frac{(1 - \xi_R)(0.8y_c - e_o)}{0.8y_c}\right] h_o \quad \text{(3-17)}$$

Khi $e_o > 0.8y_c$ lấy $x = \xi_R h_o$

3.3.3. Trường hợp đặc biệt

Nén lệch tâm lớn, khi xảy ra $x < 2a_c$ (mặc nhiên công nhận $x < \xi_R h_o$ để có $\sigma_s = R_s$). Lúc này dùng điều kiện (3-8) để tính toán, trong đó:

$$M_{2gh} = R_s A_w Z_a + M_B \quad \text{(3-18)}$$

Trong đó: M_B - mômen của nội lực trong bê tông vùng nén. Trường hợp trục trung hoà nằm trong cánh, $x \le c$, tính M_B theo (3-18):

$$M_B = 0.8R_b Bx\left(a_c - \frac{x}{2}\right) \quad \text{(3-18a)}$$

Tuy vậy trong nhiều trường hợp, để đơn giản hoá tính toán và thiên về an toàn có thể lấy $M_B = 0$ vì khá bé.

3.3.4. Tính toán cốt thép đối xứng

Biết kích thước tiết diện, chiều dài tính toán l_o, nội lực gồm N và M (có chiều gây cho cánh chịu nén). Biết đặc trưng của vật liệu (R_b, E_b, R_s, R_{sc}) hệ số ξ_R. Cần tính toán cốt thép đối xứng $A_w = A_c$.

3.3.4.1. Chuẩn bị số liệu

Giả thiết a_w, a_c để tính $h_o = h - a_w$ và $Z_a = h_o - a_c$.

Tính y_c, y_w, J; i, λ, xét ảnh hưởng uốn dọc, xác định η.

Khi $\lambda = \frac{l_o}{i} \le 28$ có thể bỏ qua uốn dọc, η = 1.

Khi λ > 28, tính N_{th}, η

Tính $e_1 = \dfrac{M}{N}$: e_o

Khi tính độ lệch tâm tĩnh học e_1 cần chú ý là giá trị mômen M đã được lấy đối với trục qua trọng tâm G. Nếu M đã biết được lấy đối với trục qua trung điểm O thì cần tính M_G theo công thức (3-5).

Tính độ lệch tâm e theo công thức (3-9).

3.3.4.2. Lập công thức tính toán theo các trường hợp với $R_{sc} = R_s$

Với $A_s = A_c$ và $R_{sc} = R_s$, giả thiết x thoả mãn điều kiện $2a_c \leq x \leq \xi_R h_o$ từ điều kiện (3-15) rút ra biểu thức tính x và tạm đặt là x_1:

$$x_1 = \frac{N - R_b(B - b)c}{R_b b} \qquad (3\text{-}1a)$$

Dựa vào x_1 để phân biệt các trường hợp tính toán.

a) Trường hợp 1. Khi $x \geq c$ đồng thời $x_1 \geq 2a_c$. Dùng điều kiện (3-7) trong đó M_{gh} theo (3-13) với $\sigma'_s = R_{sc}$.

$$A_c = \frac{Ne - R_b bx(h_o - 0.5x) - R_b(B - b)c(h_o - 0.5c)}{R_{sc} Z_a} \qquad (3\text{-}20)$$

Trong đó: khi $x_1 \leq \xi_R h_o$ - nén lệch tâm lớn, lấy $x = x_1$.

Khi $x_1 > \xi_R h_o$ - nén lệch tâm bé, có thể lấy x theo công thức thực nghiệm (3-16) hoặc lập và giải hệ phương trình (tương tự như đối với tiết diện chữ nhật) để đồng thời xác định x và σ_s. Cốt thép đối xứng, lấy $A_w = A_c$.

b) Trường hợp 2. Khi $x_1 \geq c$ mà $x_1 < 2a_c$ (mặc nhiên công nhận $x < \xi_R h_o$). Dùng công thức của điều kiện đặc biệt (3-8) và (3-17) trong đó dùng $x = c$ để tính M_B theo (3-18):

$$A_w = \frac{Ne' - M_B}{R_s Z_a} = \frac{N(e - Z_a) - M_B}{R_s Z_a} \qquad (3\text{-}21)$$

Cốt thép đối xứng, lấy $A_c = A_w$.

c) Trường hợp 3. Khi $x_1 < c$. Cần tính giá trị x theo công thức (3-22) rút ra từ (3-12) với $\sigma'_s A_c = \sigma_s A_w$:

$$x = \frac{N}{R_b B} \qquad (3\text{-}22)$$

Điều kiện là $x \le c$.

Khi $x \ge 2a_c$ tính cốt thép theo công thức (3-23) được rút ra từ điều kiện (3-7) và công thức (3-11) với $\sigma'_s = R_{sc}$:

$$A_c = \frac{Ne - R_b Bx(h_o - 0.5x)}{R_{sc} Z_a} \quad (3\text{-}23)$$

Khi $x < 2a_c$, tính A_w theo công thức (3-24) rút từ công thức (3-21) với $M_B = 0$.

$$A_w = \frac{N(e - Z)}{R_s Z} \quad (3\text{-}24)$$

$$Z = \max\,(Z_a = h_o - a_c \text{ và } Z_c = h_o - 0.5c)$$

3.3.5. Tính toán cốt thép không đối xứng

Số liệu đã biết và chuẩn bị số liệu để tính toán như trong mục 3.3 4.1.

Để phân biệt trường hợp nén lệch tâm là lớn hay bé, lấy trường hợp phân giới $x_R = \xi_R h_o$ làm chuẩn. Tìm vị trí trọng tâm vùng nén Q, có khoảng cách đến mép của cánh là y_Q. Với $x_R \ge c$ có:

$$y_Q = \frac{0.5bx_R^2 + 0.5(B - b)c^2}{bx_R + (B - b)c} \quad (3\text{-}25)$$

Khoảng cách từ Q đến trọng tâm G của tiết diện là d_1:

$$d_1 = y_c - y_Q \quad (3\text{-}26)$$

Xem là nén lệch tâm lớn khi $\eta e_o \ge 1.25d_1$ và ngược lại.

3.3.5.1. Nén lệch tâm lớn

Khi xảy ra $\eta e_o \ge 1.25d_1$, tính toán theo nén lệch tâm lớn. Lúc này có hai phương trình (3-13), (3-15) để xác định 3 ẩn số là A_w, A_c và x. Có thể giải bằng cách chọn trước x hoặc A_c (cốt thép chịu nén).

a) Chọn trước x. Có thể tự chọn một giá trị x đồng thời thoả mãn các điều kiện: $x \le \xi_R h_o$; $x \ge c$; $x \ge 2a_c$ tính được A_c theo công thức (3-20).

Khi $A_c \ge 0$, từ (3-15) rút ra công thức A_w:

$$A_w = \frac{R_b bx + R_b(B - b)c + R_{sc}A_c - N}{R_s} \quad (3\text{-}27)$$

Khi tính được $A_c < 0$ thì hoặc là giảm x để tính lại hoặc là chọn A_c theo cấu tạo để tính theo mục b. Có thể giảm x đến giá trị nhỏ nhất bằng max (c và $2a_c$).

b) Chọn trước A_c. Có thể biết trước A_c bằng cách chọn đặt theo cấu tạo hoặc vì một lí do nào đó mà đã có sẵn cốt thép đặt trong phần cánh. Cũng có thể xem $A_c = 0$ (chỉ xem là cốt thép cấu tạo, không kể vào trong tính toán). Lúc này cần xác định vị trí trục trung hoà bằng cách tính M_c.

$$M_c = R_b Bc(h_o - 0,5c) + R_{sc} A_c Z_a \quad (3\text{-}28)$$

Trường hợp 1. Khi $Ne \geq M_c$ trục trung hoà qua sườn.

Tính: $$M_b = R_b (B - b)c(h_o - 0,5c) + R_{sc} A_c Z_a \quad (3\text{-}29)$$

$$\alpha_m = \frac{Ne - M_b}{R_b bh_o^2} \quad (3\text{-}30)$$

$$\xi = 1 - \sqrt{1 - 2\alpha_m}$$

$$x = \xi h_o \quad (3\text{-}31)$$

Điều kiện là $x \leq \xi_R h_o$ ($\xi \leq \xi_R$) đồng thời $x \geq c$ và $x \geq 2a'$. Thay giá trị x và A_c vào công thức (3-27) để tính A_w.

Trường hợp 2. Khi $Ne < M_c$. Trục trung hoà qua cánh ($x < c$).

$$\alpha_{m1} = \frac{Ne - R_{sc} A_c Z_a}{R_b Bh_o^2} \quad (3\text{-}30a)$$

$$\xi = 1 - \sqrt{1 - 2\alpha_{m1}} \; ; \; x = \xi h_o \quad (3\text{-}31a)$$

Khi $x \geq 2a_c$, tính A_w theo công thức (3-32):

$$A_w = \frac{R_b Bx + R_{sc} A_c - N}{R_s} \quad (3\text{-}32)$$

Khi $x < 2a_c$, kể cả khi $\alpha_{m1} < 0$, tính A_w theo công thức (3-24) thuộc trường hợp đặc biệt.

3.3.5.2. Nén lệch tâm bé

Khi xảy ra $\eta e_o < 1,25d_1$, tính toán theo nén lệch tâm bé. Tính x bằng công thức thực nghiệm (3-16). Kiểm tra điều kiện $x \geq c$. Tính cốt thép A_c theo công thức (3-20). Chọn A_w theo điều kiện:

$$A_w \geq \max (0,0025bh_o \text{ và } \theta_c A_c)$$

Giá trị θ_c lấy phụ thuộc vào tỉ số e_1/d_1.

e_1/d_1	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,1	1,25
θ_c	1	0,85	0,70	0,55	0,4	0,30	0,34	0,40

Trường hợp đặc biệt. Với nén lệch tâm bé, khi thoả mãn điều kiện $0.2y_c \leq \eta e_o \leq 0.8y_c$ có thể tính toán với giả thiết $A_w = 0$ (xem cốt thép ở phía chịu kéo hoặc nén ít là hoàn toàn đặt theo cấu tạo, không kể vào trong tính toán). Lúc này kết hợp phương trình (3-7) với phương trình (3-14) trong đó M_{1gh} lấy theo (3-13), cho $A_w = 0$ và $\sigma'_s = R_{sc}$ đưa về một phương trình bậc hai của x:

$$R_b bx\left(\frac{x}{2} - a_c\right) = N(Z_a - e) - R_b(B - b)c\left(\frac{c}{2} - a_c\right) \quad (3\text{-}33)$$

Cũng có thể đạt được phương trình (3-33) bằng cách lấy mômen các lực đối với trục đi qua trọng tâm A_c.

Để tránh việc giải phương trình bậc hai, đem đặt $\alpha_a = \frac{x}{a_c}$; $T = \alpha_a(0,5\alpha_a - 1)$.

Tính được:

$$T = \frac{N(Z_a - e) - R_b(B - b)c(0,5c - a_c)}{R_b b a_c^2} \quad (3\text{-}34)$$

$$\alpha_a = 1 + \sqrt{1 + 2T}$$

$$x = \alpha_a a_c$$

Điều kiện của x là: $c \leq x \leq h$.

Có được x, đem thay vào công thức (3-35) để tính A_c:

$$A_c = \frac{N - R_b bx - R_b(B - b)c}{R_{sc}} \quad (3\text{-}35)$$

Nếu tính được $x > h$ thì không thể bỏ qua A_w.

3.3.6. Đánh giá và xử lí kết quả

Cốt thép tính được theo các công thức đã lập có thể là dương hoặc âm, lớn hoặc bé. Đánh giá sự hợp lí bằng cách tính tỉ lệ cốt thép:

$$\mu_s = \frac{A_w + A_c}{bh_o} \text{ hoặc } \mu_s\% = \frac{(A_w + A_c)}{bh_o}100\%$$

Điều kiện là: $\mu_{min} \le \mu_s \le \mu_{max}$.

Nếu tính được μ_s quá bé, thậm chí cốt thép âm chứng tỏ kích thước quá lớn và ngược lại.

Sau khi đã chọn và bố trí cốt thép cần xác định các trị số a_w, a_c, tính lại h_o và Z_a. Khi h_o và Z_a tính được theo cấu tạo thực tế của cốt thép đều lớn hơn các giá trị đã dùng để tính toán (a_w và a_c theo giả thiết) là có kết quả thiên về an toàn.

3.3.7. Kiểm tra khả năng chịu lực

Biết kích thước tiết diện và cấu tạo cốt thép, l_o. Yêu cầu kiểm tra xem tiết diện có đủ khả năng chịu cặp nội lực M, N hay không, trong đó M được lấy đối với trọng tâm G của tiết diện và có chiều làm cho cánh chịu nén.

3.3.7.1. Chuẩn bị số liệu

Với cốt thép đã biết, xác định A_w, A_c, a_w, a_c, tính h_o, Z_a. Tra các số liệu R_b, E_b, R_s, R_{sc}, ξ_R. Tính toán y_c, y_w, J. Xét ảnh hưởng uốn dọc, xác định η, tính toán độ lệch tâm e_1, e_o, e.

3.3.7.2. Lập công thức tính toán cho các trường hợp

Trước hết tạm giả thiết trường hợp nén lệch tâm lớn có trục trung hoà đi qua sườn: $x \le \xi_R h_o$; $x \ge c$ đồng thời $x \ge 2a_c$. Tính x theo công thức (3-36) rút ra từ điều kiện (3-15) và đặt là x_2.

$$x_2 = \frac{N + R_s A_w - R_b(B-b)c - R_{sc}A_c}{R_b b} \qquad (3\text{-}36)$$

Dựa vào giá trị x_2 để phân định các trường hợp.

a) Trường hợp 1. Khi thoả mãn các điều kiện đã nêu ra trong giả thiết ($x_2 \le \xi_R h_o$; $x_2 \ge c$ đồng thời $x_2 \ge 2a_c$) thì lấy $x = x_2$ và $\sigma'_s = R'_s$ thay vào công thức (3-13) để tính M_{1gh}, kiểm tra theo điều kiện (3-7).

b) Trường hợp 2. Khi $x_2 \le \xi_R h_o$; $x_2 \ge c$ nhưng $x_2 < 2a_c$. Tính toán kiểm tra theo trường hợp đặc biệt, tính M_{2gh} theo công thức (3-17) trong đó lấy x = c để tính M_B theo công thức (3-18). Kiểm tra theo điều kiện (3-8).

c) Trường hợp 3. Khi $x_2 < c$ (mặc nhiên xem $x < \xi_R h_o$) cần tính x theo công thức (3-37a) rút ra từ (3-12).

$$x = \frac{N + R_s A_w - R_{sc}A_c}{R_b B} \qquad (3\text{-}37a)$$

Khi $x \geq 2a'$, tính M_{1gh} theo công thức (3-11) với $\sigma'_s = R_{sc}$ và kiểm tra theo điều kiện (3-7).

Khi $x < 2a'$ tính M_{2gh} theo công thức (3-17) trong đó lấy $M_B = 0$, kiểm tra theo điều kiện (2-8).

d) Trường hợp 4. Khi $x_2 > \xi_R h_o$. Cần xác định lại x.

Từ hai phương trình (3-14) và (3-16) rút ra công thức tính x:

$$x = \frac{\left[N - R_b(B-b)c - R_{sc}A_c\right](h - \xi_R h_o) + R_s A_w (h + \xi_R h_o)}{R_b b(h - \xi_R h_o) + 2R_s A_w} \tag{3-37b}$$

Điều kiện là $\xi_R h_o \leq x \leq h$.

Có được x, đem thay vào công thức (3-13) với $\sigma'_s = R_{sc}$ để tính M_{1gh} và kiểm tra theo điều kiện (3-7).

3.3.8. Biểu đồ tương tác

Để vẽ biểu đồ tương tác của tiết diện chữ T có cánh trong vùng nén cũng tiến hành như đối với tiết diện chữ nhật, có thể dùng một số phương pháp khác nhau, trong đó phương pháp dùng biến số trung gian x là thuận lợi hơn cả. Đầu tiên tính với N = 0, tìm giá trị x_3 theo công thức (3-38) (là công thức 3.36 với N = 0).

$$x_3 = \frac{R_s A_w - R_b(B-b)c - R_{sc}A_c}{R_b b} \tag{3-38}$$

Khi $x_3 \leq \xi_R h_o$ đồng thời $x_3 \geq c$; $x_3 \geq 2a_c$ tính M_o theo công thức (3-39) trong đó lấy $x = x_3$.

$$M_o = R_b bx(h_o - 0{,}5x) - R_b(B-b)c(h_o - 0{,}5c) + R_{sc}A_c Z_a \tag{3-39}$$

Khi $x \geq c$ mà $x < 2a_c$ (mặc nhiên xem $x \leq \xi_R h_o$):

$$M_o = R_s A_w Z_a + M_B \tag{3-40}$$

Trong đó M_B tính theo (3-18) với x = c.

Khi $x_3 < c$, trục trung hoà nằm trong cánh, (bao gồm cả trường hợp $x_3 < 0$), tính x_c theo công thức (3-41):

$$x_c = \frac{R_s A_w - R_{sc}A_c}{R_b B} \tag{3-41}$$

Khi $x_c \geq 2a'$ tính M_c theo (3-42).

$$M_o = R_b B x_c (h_o - 0,5x_c) + R_{sc} A_c Z_a \quad (3\text{-}42)$$

Khi $x_c < 2a_c$ tính M_o theo công thức (3-43):

$$M_o = R_s AZ \quad (3\text{-}43)$$

Trong đó: $Z = \max (Z_a; Z_c = h_o - 0,5c)$

Khi $x_3 > \xi_R h_o$ tính M_o theo công thức (3-39) trong đó lấy $x = \xi_R h_o$.

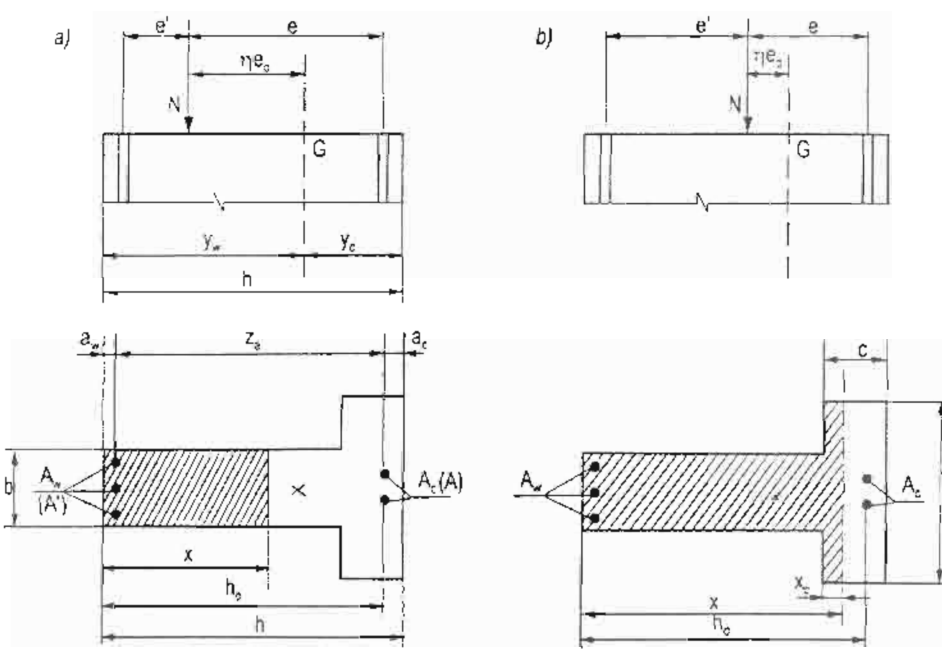
Tính tiếp với các giá trị khác của x; $x = x_3 + \Delta x$. Ứng với mỗi giá trị của x tìm được N và M^{*}.

3.4. TIẾT DIỆN CÓ CÁNH BỊ KÉO

3.4.1. Các trường hợp tính toán

Dựa vào chiều của mômen $M = M_G$ để biết được trường hợp cánh bị kéo do tác dụng của mômen uốn (khi kể cả lực nén N thì cánh có thể bị kéo hoặc bị nén ít hơn). Lúc này cốt thép đặt phía sườn A_w là chịu nén, cốt thép đặt phía cánh A_c chịu kéo hoặc nén ít hơn. Dựa vào giá trị chiều cao vùng nén x để phân biệt nén lệch tâm lớn ($x \le \xi_R h_o$) và nén lệch tâm bé ($x > \xi_R h_o$).

Trường hợp 1. Khi $x \le h - c$. Toàn bộ cánh chịu kéo (hình 3.5a). Bỏ qua sự làm việc của bêtông phần cánh. Lập công thức tính toán như đối với tiết diện chữ nhật b × h, cốt thép $A_s = A_c$; $A'_s = A_w$.



Hình 3.5: Các trường hợp cánh bị kéo

Trường hợp 2. Khi $x > h - c$, cánh có một phần hoặc toàn bộ chịu nén, thường chỉ có thể xảy ra với trường hợp nén lệch tâm rất bé.

3.4.2. Điều kiện tính toán, công thức cơ bản

Điều kiện tính toán là điều kiện chung (3-7), trong đó:

$$e = \eta e_o + y_c - a_c \tag{3-44}$$

Trường hợp đặc biệt dùng điều kiện (3-8).

Công thức tính M_{1gh}, M_{2gh} được thành lập tuỳ theo giá trị của x.

3.4.2.1. Trường hợp cánh chịu kéo toàn bộ

Khi cánh chịu kéo toàn bộ; $x < h - c$: xác định M_{1gh} theo công thức (2-4), với các chỉ dẫn về xác định x theo mục 2.1.2. Trường hợp đặc biệt, khi $x \le 2a_w$ tính M_{2gh} theo công thức (2-12).

3.4.2.2. Trường hợp cánh có một phần chịu nén

Nén lệch tâm bé, khi tính được $x > h - c$ thì cánh có một phần chịu nén. Đặt $x_c = x + c - h$ là chiều cao phần chịu nén của cánh. Tính khả năng chịu lực theo công thức (3-45):

$$M_{1gh} = R_b bx\left(h_o - \frac{x}{2}\right) + 0.8R_b(B-b)x_c(c - a_c - 0.5x_c) + R_{sc}A_w Z_a \tag{3-45}$$

$$N = N_{gh} = R_b bx + 0.8R_b(B-b)x_c + R_{sc}A_w - \sigma_c A_c \tag{3-45a}$$

3.4.3. Tính toán cốt thép đối xứng

Điều kiện và chuẩn bị số liệu giống như ở các mục 2.2.1 và 3.3.5.1. Chú ý mômen M được lấy đối với trục qua trọng tâm G và có chiều làm cho cánh bị kéo.

Trước hết tính x_1 theo công thức (2-13) viết lại thành (3-46):

$$x_1 = \frac{N}{R_b b} \qquad (3\text{-}46)\ (2\text{-}13)$$

Dựa vào giá trị của x_1 để phân biệt các trường hợp tính toán.

3.4.3.1. Nén lệch tâm lớn thông thường

Khi $x_1 \le \xi_R h_o$ đồng thời $x_1 \ge 2a_w$ (2a') lấy $x = x_1$ thay vào công thức (3-47), viết lại từ công thức (2-14) để tính A_w. Cốt thép đối xứng lấy $A_c = A_w$.

$$A_w = \frac{N(e + 0.5x - h_o)}{R_{sc}Z_a} \qquad (3\text{-}47)\ (2\text{-}14)$$

3.4.3.2. Nén lệch tâm lớn, đặc biệt

Khi $x_1 < 2a_x$, dùng công thức (3-48) để tính A_c, lấy $A_w = A_c$.

$$A_c = \frac{N(e - Z_a)}{R_s Z_a} \quad (3\text{-}48)\ (2\text{-}18)$$

3.4.3.3. Nén lệch tâm bé thông thường

Khi $x_1 > \xi_R h_o$ cần xác định x theo các chỉ dẫn ở mục 2.2.3.2. bằng cách giải phương trình (2-15), phương trình bậc ba của x hoặc có thể dùng công thức gần đúng (2-10). Khi có được $x \le h - c$ dùng công thức (3-49) viết lại từ công thức (2-17) để tính A_w.

$$A_w = \frac{Ne - R_b bx(h_o - 0,5x)}{R_{sc} Z_a} \quad (3\text{-}49)\ (2\text{-}17)$$

Cốt thép đối xứng lấy $A_c = A_w$.

3.4.3.4. Nén lệch tâm bé đặc biệt

Khi tính được $x > h - c$, trục trung hoà nằm trong cánh, cánh có một phần chịu nén. có trường hợp đặc biệt. phải tính lại x theo cách khác.

Kết hợp phương trình cân bằng lực, phương trình (3-16) quan hệ giữa x và σ_s có được phương trình bậc ba của x:

$$x^3 - h_o(2 + \xi_R)x^2 + Dx - E = 0 \quad (3\text{-}50)$$

$$D = \frac{2Ne}{R_b B} + 2\xi_R h_o^2 + Z_a(h - \xi_R h_o) + (h - c)(c + h - 2a)\left(1 - \frac{b}{B}\right)$$

$$E = \frac{N}{R_b B}(2e\xi_R h_o + hZ_a - \xi_R h_o Z_a) + (h - c)(\xi_R h_o c + hZ_a)\left(1 - \frac{b}{B}\right)$$

Giải phương trình (3-46) tìm x. Điều kiện là $h - c \le x \le h$. Đem x thay vào công thức (3-45) rút ra công thức tính A_w.

$$A_w = \frac{Ne - R_b bx(h_o - x/2) - 0,8R_b(B - b)x_c(c - a_c - 0,5x_c)}{R_{sc} Z_a} \quad (3\text{-}51)$$

Trong đó $x_c = x + c - h$.

Cốt thép đối xứng lấy $A_c = A_w$.

3.4.4. Tính toán cốt thép không đối xứng

Lấy trường hợp phân giới của vùng nén, $x = \xi_R h_o$, tính khoảng cách d_2 từ trọng tâm vùng nén của trường hợp này đến trọng tâm G của tiết diện.

$$d_2 = y_w - 0,5\ \xi_R h_o \qquad (3\text{-}52)$$

So sánh độ lệch tâm ηe_o với d_2 để phân biệt trường hợp tính toán.

3.4.4.1. Nén lệch tâm lớn

Tính toán theo nén lệch tâm lớn khi $\eta e_o \geq 1,25d_2$.

Lúc này có thể tính toán bằng cách cho trước x hoặc A_w (A'_s).

a) Cho trước x. Có thể chọn một giá trị x thoả mãn các điều kiện $2a_w \leq x \leq \xi_R h_o$, thay vào công thức (3-49) để tính A_w.

Khi $A_w > 0$ thì thay A_w và x vào công thức (3-53) để tính cốt thép chịu kéo A_c:

$$A_c = \frac{R_b bx + R_{sc}A_w - N}{R_s} \qquad (3\text{-}53)\ (2\text{-}20)$$

Nếu tính được $A_w < 0$ thì giảm x để tính lại hoặc chuyển sang tính toán theo trường hợp b.

b) Chọn trước cốt thép chịu nén A_w.

Có thể chọn trước hoặc biết trước A_w, tính A_c. Dùng công thức (2-22) và (2-23) để tính α_m và ξ. Tính $x = \xi h_o$ và kiểm tra điều kiện: $2a_w \leq x \leq \xi_R h_o$. Khi điều kiện về x được thoả mãn thì dùng công thức (2-20) để tính A_c.

Khi $x > \xi_R h_o$ chứng tỏ A_w đã biết là quá bé, cần tăng lên hoặc tính theo mục a.

Khi $x < 2a_w$, kể cả trường hợp $\alpha_m < 0$, tính A_c theo trường hợp đặc biệt, dùng công thức (3-48).

3.4.4.2. Nén lệch tâm bé thông thường

Khi $\eta e_o < 1,25d_2$ tính toán theo nén lệch tâm bé.

Xác định x theo công thức thực nghiệm (2-10) hoặc (2-11). Khi thoả mãn điều kiện $\xi_R h_o \leq x \leq h - c$, dùng công thức (3-49) để tính cốt thép chịu nén nhiều A_w. Cốt thép A_c được chọn theo cấu tạo theo điều kiện (2-28).

3.4.4.3. Nén lệch tâm bé đặc biệt

Khi tính được $x > h - c$, có trường hợp đặc biệt. Lúc này nếu $\eta e_o \leq 0,4d_2$ nên tính toán và cấu tạo cốt thép đối xứng. Khi $0,4d_2 < \eta e_o < 1,2d_2$, chọn đặt A_c theo cấu tạo, tính x từ phương trình (3-54):

$$x^2 - 2a_c x + F = 0 \qquad (3\text{-}54)$$

$$F = \frac{2N(e - Z_a)}{RB} + (h - c)(c + h - 2Z_a - 2a_c)\left(1 - \frac{b}{B}\right)$$

Điều kiện là $h - c \le x \le h$.

Có được x đem thay vào công thức (3-47) để tính A_w.

3.4.5. Đánh giá và xử lí kết quả

Việc đánh giá và xử lí kết quả tính cốt thép trường hợp không đối xứng cũng tiến hành như trường hợp đối xứng đã trình bày ở mục 3.37.

3.4.6. Kiểm tra khả năng chịu lực

Với tiết diện đã biết, kiểm tra xem có đủ khả năng chịu cặp nội lực M, N trong đó M được lấy đối với trục qua trọng tâm G của tiết diện ($M = M_G$) và tác dụng của M làm cho cánh bị kéo. Lúc này cốt thép A_w ở trong sườn là cốt thép chịu nén.

Trước hết giả thiết trường hợp chịu nén lệch tâm lớn thông thường, thoả mãn điều kiện $2a_w \le x \le \xi_R h_o$. Tính x_2 theo công thức (3-55), chép lại từ (2-34).

$$x_2 = \frac{N + R_s A_c - R_{sc} A_w}{R_b b} \quad (3\text{-}55)\ (2\text{-}34)$$

Dựa vào x_2 để phân biệt các trường hợp tính toán

3.4.6.1. Nén lệch tâm lớn thông thường

Khi thoả mãn điều kiện $2a_w \le x_2 \le \xi_R h_o$, lấy $x = x_2$ thay vào công thức (3-56) để tính M_{1gh}.

$$M_{1gh} = R_b bx\left(h_o - \frac{x}{2}\right) + R_{sc} A_w Z_a \quad (3\text{-}56)\ (2\text{-}4)$$

Dùng điều kiện (3-7) để kiểm tra, trong đó tính e theo (3-44).

3.4.6.2. Nén lệch tâm lớn đặc biệt

Khi xảy ra $x_2 < 2a_c$, có trường hợp đặc biệt. Tính M_{2gh} theo công thức (3-57) chép lại từ (2-12b).

$$M_{2gh} = R_s A_c Z_a \quad (3\text{-}57)\ (2\text{-}12b)$$

Và kiểm tra theo điều kiện (3-8) với $e' = e - Z_a$.

3.4.6.3. Nén lệch tâm bé thông thường

Tính chiều cao vùng nén theo công thức (3-58) chép lại từ (2-35):

$$x = \frac{(N - R_{sc}A_w(h - \xi_R h_o) + R_s A_c(h + \xi_R h_o)}{R_b b(h - \xi_R h_o) + 2R_s A_c} \qquad (3\text{-}58)\ (2\text{-}35)$$

Điều kiện của x là $\xi_R h_o \leq x \leq h - c$

Với x thoả mãn điều kiện trên đây, thay x vào công thức (3-56) để tính M_{1gh} và kiểm tra theo điều kiện (3-7).

3.4.6.4. Nén lệch tâm bé đặc biệt

Khi xảy ra $x > h - c$, có trường hợp đặc biệt. Tính lại giá trị của x:

$$x = \frac{(N + R_b(B - b)(h - c) - R_{sc}A_w(h - \xi_R h_o) + R_s A_c(h + \xi_R h_o)}{RB(h - \xi_R h_o) + 2R_s A_c} \qquad (3\text{-}59)$$

Điều kiện là $h - c \leq x \leq h$. Tính $x_c = x + c - h$.

Thay x và x_c vào công thức (3-45) để tính M_{1gh}. Kiểm tra theo điều kiện (3-7) trong đó e tính theo (3-44).

3.4.7. Biểu đồ tương tác

Để lập biểu đồ tương tác cho tiết diện chữ T có cánh trong vùng kéo (hoặc nén ít hơn), dùng x làm biến số trung gian. Trước hết cho x biến thiên trong khoảng $0 < x \leq h - c$ và tính toán như đối với tiết diện chữ nhật $b \times h$ có cốt thép chịu kéo $A_s = A_c$, cốt thép chịu nén $A'_s = A_w$, đã được trình bày trong mục 2.5.3 và 2.5.7. Tiếp đến cho x biến thiên trong khoảng tiếp theo $h - c < x \leq h$. Dùng công thức (3-16) để tính σ_s (với $x > \xi_R h_o$). Tính N theo công thức (3-45a), tính M_{1gh} theo công thức (3-45). Từ M_{1gh} tính ra được $M^* = N\eta e_o$ với chú ý $M_{1gh} = Ne = N(\eta e_o + y_c - a_c)$.

3.5. TÍNH TIẾT DIỆN CHỮ T VỚI NHIỀU CẶP NỘI LỰC

Việc tính toán với nhiều cặp nội lực cho tiết diện chữ nhật đã trình bày trong mục 2.6. Tính toán tiết diện chữ T cũng tương tự như vậy.

Khi đặt cốt thép đối xứng, chỉ việc tính cốt thép cho tất cả các cặp rồi chọn lấy giá trị lớn nhất.

Khi đặt cốt thép không đối xứng với mục đích dùng hợp lí và tiết kiệm cốt thép thì việc tính toán trở nên khá phức tạp, nhất là khi tính với các cặp có mô men ngược chiều và chịu nén lệch tâm lớn. Việc lập và dùng biểu đồ tương tác cũng tương đối phức tạp hơn so với tiết diện chữ nhật vì mỗi tiết diện cần lập hai biểu đồ tương tác theo hai chiều của mô men. Tuy vậy khi đã lập được biểu đồ tương tác thì có thể dùng để kiểm tra khả năng chịu lực của rất nhiều cặp nội lực một cách nhanh chóng.

3.6. TÍNH TOÁN TIẾT DIỆN CHỮ I

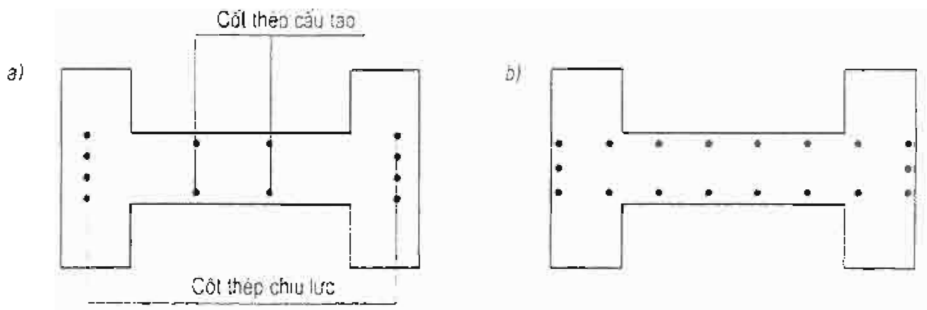
3.6.1. Đại cương về tiết diện chữ I

Tiết diện chữ I gồm có phần sườn và hai cánh, thông thường là đối xứng qua hai trục (hình 3.6). Cột tiết diện chữ I thường gặp là các cột lắp ghép trong các nhà công nghiệp. Trong nhà dân dụng ít gặp cột tiết diện chữ I.

Cấu tạo cốt thép trong tiết diện có hai cách:

a) Đặt cốt thép chịu lực tập trung trong phần cánh, trong phần sườn chỉ đặt cốt thép cấu tạo (hình 3.6a).

b) Đặt cốt thép chịu lực gồm hai phần, một phần tập trung trong hai cánh, phần còn lại đặt dọc theo sườn (hình 3.6b).



Hình 3.6. Tiết diện chữ I

3.6.2. Tính toán trường hợp đặt cốt thép tập trung

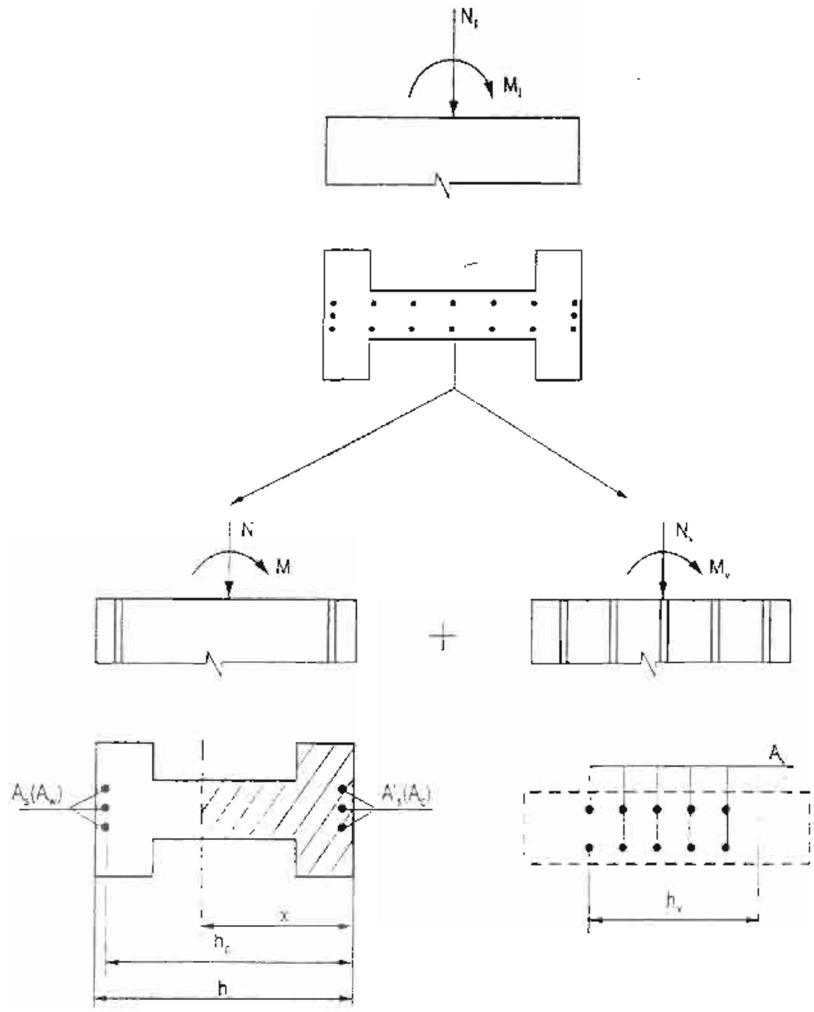
Cốt thép dọc chịu lực được đặt tập trung ở hai phía như trên hình 3.6a. Lúc này luôn luôn có một cánh chịu nén nhiều (cánh kia chịu kéo hoặc chịu nén ít hơn). Bỏ qua sự làm việc của bê tông trong cánh chịu kéo (hoặc nén ít hơn). Tính toán tiết diện chữ I theo trường hợp tiết diện chữ T có cánh chịu nén.

3.6.3. Tính toán trường hợp có cốt thép chịu lực đặt theo sườn

Để lập công thức tính toán cho trường hợp này có thể theo phương pháp đã trình bày trong mục 2.7 với tiết diện chữ nhật có cốt thép đặt theo chu vi. Theo phương pháp này cần lập biểu đồ biến dạng của tiết diện, xác định biến dạng và ứng suất trong từng thanh cốt thép, từ đó lập ra công thức tính toán, dùng điều kiện cân bằng lực.

Cách tính gần đúng là phân chia tiết diện làm hai phần như trên hình 3.7. Phần tiết diện chữ I với cốt thép đặt tập trung ở hai phía, chịu cặp nội lực M, N; phần tiết diện chỉ gồm các cốt thép đặt trong sườn (không có bêtông) chịu cặp nội lực M_v; N_v.

Theo Quy phạm thiết kế kết cấu bê tông của Trung Quốc GB50010 - 2002 khi dùng cốt thép có giới hạn chảy rõ ràng ($R_s \leq 400$ MPa) giá trị N_v, M_v được tính toán theo các công thức sau:



Hình 3.7: Sơ đồ tính tiết diện chữ I có cốt thép chịu lực đặt theo sườn

$$N_v = \left(1 + \frac{\xi - 0.8}{0.4\omega}\right) R_s A_v \tag{3-60}$$

$$M_v = \left[0,5 - \left(\frac{\xi - 0.8}{0.8\omega}\right)^2\right] R_s A_v h_v \tag{3-61}$$

Trong đó:

A_v - diện tích tiết diện toàn bộ cốt thép đặt dọc theo sườn;

h_v - chiều dài đoạn đặt A_v;

$\xi = \dfrac{x}{h_o}$ - chiều cao tương đối của vùng nén;

$\omega = \dfrac{h_v}{h_o}$.

Việc tính toán tiến hành theo cách gần đúng dần. Đầu tiên giả thiết bố trí cốt thép trong sườn, giả thiết ξ để tính N_v, M_v. Tiết diện chịu cặp nội lực M_I, N_I.

Tính phần nội lực $M = M_I - M_v$; $N = N_I - N_v$.

Dùng cặp nội lực M và N để tính toán cốt thép đặt tập trung trong phạm vi cánh và tính được x. Tính lại giá trị $\xi = \frac{x}{h_o}$ và tính lại M_v, N_v. Tính toán một số lần cho đến khi giá trị ξ dùng để tính và thu được sau khi tính gần bằng nhau là được.

3.7. THÍ DỤ TÍNH TOÁN

Thí dụ 1. Cho tiết diện chữ T có b = 40cm; h = 80cm;

B = 160; c = 16cm. Chiều cao cột H = 6m; chiều dài tính toán l_o = 4,2m. Bê tông có R_b = 9; E_b = 24000 MPa; cốt thép $R_s = R_{sc}$ = 260MPa. Lực nén N = 2000 kN, mômen được tính với trục đi qua trung điểm M_I = 800 kNm có chiều làm cho cánh tiết diện chịu nén. Độ lệch tâm ngẫu nhiên e_a = 4cm. Yêu cầu tính cốt thép đối xứng.

Kiểm tra cấu tạo của tiết diện:

Độ vươn của cánh:

$$v = \frac{B - b}{2} = \frac{160 - 40}{2} = 60\text{cm}$$

$c = 16\text{cm} > 0{,}15h = 12\text{cm}$; $v \le 4c = 64\text{cm}$ - Thoả mãn.

$$v = 60\text{cm} < \frac{1}{8}H = \frac{1}{8} \times 600 = 75\text{cm}.$$

Diện tích tiết diện:

$$A_T = bh + (B - b)\,c = 40 \times 80 + (160 - 40)16 = 5120\ \text{cm}^2$$

Toạ độ trọng tâm:

$$y_c = \frac{0{,}5bh^2 + 0{,}5(B - b)c^2}{A_T}$$

$$y_c = \frac{0{,}5 \times 40 \times 80^2 + 0{,}5 \times 120 \times 16^2}{5120} = 28\text{cm} = 280\text{mm}$$

$$y_w = h - y_c = 800 - 280 = 520\text{mm}$$

Khoảng cách từ trung điểm O đến trọng tâm G:

$$d = 0{,}5h - y_c = 400 - 280 = 120\text{mm}$$

Mômen quán tính J:

$$J = \frac{40}{3}(28^3 + 52^3) + \frac{120 \times 16^3}{12} + 120 \times 16(28-8)^2 = 2,976 \times 10^6 cm^4$$

Bán kính quán tính i:

$$i = \sqrt{\frac{2976000}{5120}} = 24,1cm = 241mm$$

$$\lambda = \frac{l_o}{i} = \frac{4200}{241} 17,5 < 28$$

Bỏ qua ảnh hưởng uốn dọc, $\eta = 1$.

Mômen đã cho là đối với trục qua điểm giữa O. Tính mômen đối với trục qua trọng tâm G.

$$M_G = M_1 \pm Nd = 800 - 2000 \times 0,12 = 560 \text{ kNm}$$

Giả thiết $a_w = a_c = 50mm$; $h_o = 800 - 50 = 750$; $Z_a = 700mm$.

Độ lệch tâm $e_1 = \frac{560}{2000} = 0,28m = 280mm$

$$e_o = e_1 + e_a = 280 + 40 = 320mm$$

$$e = \eta e_o + y_w - a_w = 1 \times 320 + 520 - 50 = 790mm$$

Hệ số ξ_R. Với $R_s = 260$; $R_b = 9$ có $\xi_R = 0,64$.

$$\xi_R h_o = 0,64 \times 750 = 480mm.$$

Tính toán cốt thép đối xứng, cánh trong vùng nén:

$$x_1 = \frac{N - R_b(B-b)c}{R_b b} = \frac{2000 \times 10^3 - 9(1600-400)160}{9 \times 400} = 75mm$$

$x_1 < c = 160$. Cần tính lại x.

$$x = \frac{N}{R_n B} = \frac{2000 \times 1000}{9 \times 1600} = 139mm < c = 160$$

Đồng thời $x > 2a_c = 100$.

$$A_c = \frac{Ne - R_b Bx(h_o - 0,5x)}{R_{sc} Z_a} = \frac{2000000 - 9 \times 160 \times 139(750 - 69,5)}{260 \times 700} = 1200mm^2$$

Cốt thép đối xứng lấy $A_w = A_c = 1200mm^2$

$$\mu_s = \frac{2 \times 1200}{400 \times 750} = 0,008 = 0,8\%$$

Thí dụ 2. Theo số liệu của thí dụ 1, yêu cầu tính cốt thép không đối xứng.

Đã tính được: $h_o = 750$; $Z_a = 700mm$; $x_R = \xi_R h_o = 480$

$e = 790$; $\eta e_o = 320mm$.

Tính y_Q theo công thức (3-25):

$$y_Q = \frac{0,5bx_R^2 + 0,5(B-b)c^2}{bx_R + (B-b)c} = \frac{0,5 \times 400 \times 465^2 + 0,5 \times 1200 \times 160^2}{400 \times 465 + 1200 \times 160} = 161mm$$

$d_1 = y_c - y_Q = 280 - 161 = 119mm$

$\eta e_o = 320 > 1,25\, d_1 = 1,25 \times 119 = 143mm.$

Tính toán theo nén lệch tâm lớn.

Chọn $x = 300mm < \xi_R h_o = 480$; $x > c = 160$;

$x > 2a_c = 100.$

Tính A_c theo công thức (3-20):

$$A_c = \frac{Ne - R_b bx(h_o - 0,5x) - R_b(B-b)c(h_o - 0,5c)}{R_{sc}Z_a}$$

$$A_c = \frac{2000000 \times 790 - 9 \times 400 \times 300(750-150) - 9 \times 1200 \times 160(750-80)}{260 \times 700} < 0$$

Tính được A_c âm, chọn theo cấu tạo:

$A_c \geq 0,0025 \times 400 \times 750 = 750\ mm^2$

Chọn $A_c = 3\ \phi\ 18 = 763\ mm^2$.

$M_c = R_b Bc\ (h_o - 0,5c) + R_{sc}A_c Z_a$

$M_c = 9 \times 1600 \times 160\ (750 - 80) + 260 \times 763 \times 700 = 1682 \times 10^6.$

$Ne = 2000.000 \times 790 = 1580 \times 10^6 < M_c.$

Trục trung hoà qua cánh:

$$\alpha_{m1} = \frac{Ne - R_{sc}A_c Z_a}{R_b Bh_o^2} = \frac{1580 \times 10^6 - 260 \times 763 \times 700}{9 \times 1600 \times 750^2} = 0,178$$

$$\xi = 1 - \sqrt{1 - 2\alpha_{m1}} = 1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,178} = 0,1974$$

$x = 0,1974 \times 750 = 148mm < c = 160$; $x > 2a_c = 100.$

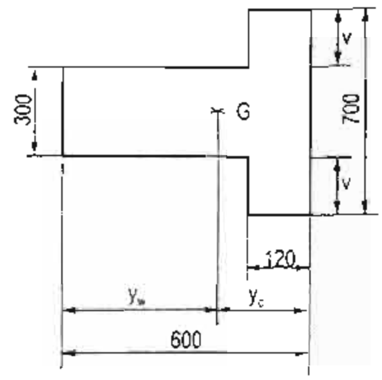
Tính A_w theo công thức (3-32):

$$A_w = \frac{R_b Bx + R_{sc}A_c - N}{R_s} = \frac{9 \times 1600 \times 148 + 260 \times 763 - 2000000}{260}$$

$A_w = 1267\ mm^2$

$$\mu_s = \frac{763 + 1267}{400 \times 750} = 0,0067 = 0,67\%$$

Thí dụ 3. Cho tiết diện như hình vẽ.



Chiều dài tính toán $l_o = 5,3$m. Bê tông có $R_b = 13$ MPa cốt thép có $R_s = R_{sc} = 340$ MPa. Cặp nội lực N = 1600 kN, M = 519,2 kNm. Mômen lấy đối với trục qua trọng tâm G và làm cho cánh bị nén. Bỏ qua độ lệch tâm ngẫu nhiên. Yêu cầu tính toán cốt thép đối xứng.

Số liệu: b = 300; h = 600; B = 700; c = 120mm.

$R_b = 13$; $E_b = 29000$; $R_s = R_{sc} = 340$MPa; $\xi_R = 0,58$

Kiểm tra kích thước cánh: $v = \frac{700 - 300}{2} = 200$mm.

c = 120 > 0,15h = 0,15 × 600 = 90; v ≤ 4c = 480. Đạt yêu cầu.

Diện tích: $A_T = 300 \times 600 + (700 - 300)\ 120 = 228000\ mm^2$

$$y_c = \frac{0.5 \times 300 \times 600^2 + 0,5 \times 400 \times 120^2}{228000} = 249,5mm$$

$y_w = 600 - 249,5 = 350,5$mm.

$$J = \frac{300}{3}(249.5^3 + 350.5^3) + \frac{400 \times 12^3}{12} + 400 \times 120(249.5 - 60)^2$$

$$= 7813 \times 10^6 mm^4$$

Bán kính quán tính $i = \sqrt{\frac{7813 \times 10^6}{228000}} = 185\ mm$

$\lambda = \frac{l_o}{i} = \frac{5300}{185} = 28,6 > 28$. Cần kể đến uốn dọc

$$N_{th} = \frac{2,5 E_b J}{l_o^2} = \frac{2,5 \times 29000 \times 7813 \times 10^6}{5300^2} = 20.16 \times 10^6\ \text{Niu}$$

$N_{th} = 20160$ kN.

$$\eta = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{th}}} = \frac{1}{1 - \frac{1600}{20160}} = 1,086$$

Giả thiết $a_w = a_c = 40mm$; $h_o = 560$; $Z_a = 520mm$.

$$e_1 = \frac{M}{N} = \frac{519,2}{1600} = 0,3245m = 324,5mm$$

$e_a = 0$: $e_o = e_1 + e_a = 324,5cm$.

$$e = \eta e_o + y_w - a_w = 1,086 \times 324,5 + 350,5 - 40 = 661,6mm$$

$$x_1 = \frac{N - R_b(B - b)c}{R_b b} = \frac{1600000 - 9(700 - 300)120}{9 \times 300} = 250mm$$

$\xi_R h_o = 0,58 \times 560 = 308mm$; $x_1 = 250 < \xi_R h_o$

Đồng thời: $x_1 > c = 120$; $x_1 > 2a' = 80$. Lấy $x = x_1 = 250$.

Tính A_c theo công thức (3-20):

$$A_c = \frac{Ne - R_b bx(h_o - 0,5x) - R_b(B - b)c(h_o - 0,5c)}{R_{sc} Z_a}$$

$$A_c = \frac{1600000 \times 661,6 - 13 \times 300 \times 250(560 - 125) - 13 \times 400 \times 120(560 - 60)}{340 \times 520} = 1824$$

Cốt thép đối xứng, lấy $A_w = A_c = 1824mm^2$:

$$\mu_s = \frac{2 \times 1824}{300 \times 560} = 0,0217 = 2,17\% .$$

Chương 4

TIẾT DIỆN TRÒN VÀ VÒNG KHUYÊN

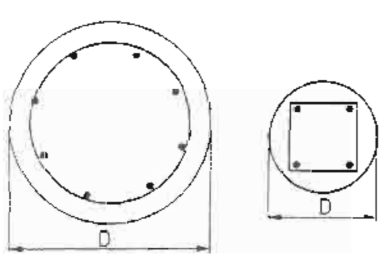
4.1. ĐẠI CƯƠNG VỀ CỘT CÓ TIẾT DIỆN TRÒN VÀ VÒNG KHUYÊN

4.1.1. Hình dạng và cấu tạo

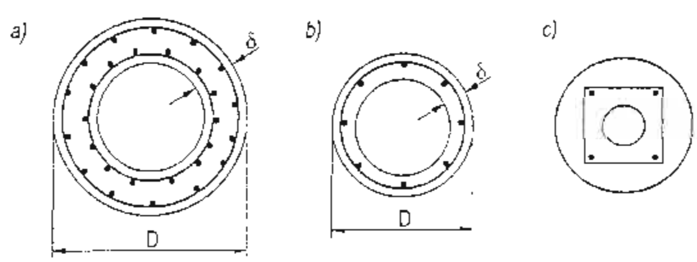
Cột có tiết diện tròn thường được dùng trong các nhà dân dụng và công cộng theo yêu cầu của kiến trúc. Khi chịu uốn và nén lệch tâm tiết diện tròn làm việc ít hiệu quả hơn so với tiết diện chữ nhật vì trong tiết diện tròn phần lớn vật liệu tập trung gần trục trung hoà. Tuy vậy tiết diện tròn có ưu điểm là đối xứng với mọi trục qua trọng tâm, độ mảnh bằng nhau theo mọi phương và trong tính toán không cần phân biệt nén lệch tâm phẳng hoặc nén lệch tâm xiên.

Cột tiết diện tròn được đặt cốt thép đều theo chu vi và thường có số lượng từ 6 thanh trở lên. Tuy vậy với những cột có đường kính bé (dưới 25cm) có thể chỉ cần đặt 4 thanh hoặc 3 thanh (nếu chỉ đặt theo cấu tạo)

Cột có tiết diện vòng khuyên (hình 4.2) thường là các cột lắp ghép được chế tạo sẵn bằng phương pháp li tâm. Cũng có thể gặp các cột đổ tại chỗ ở một số công trình công cộng, đình chùa, cột đỡ bầu tháp nước, ống khói...



Hình 4.1. Tiết diện tròn



Hình 4.2. Tiết diện vòng khuyên

Về phương diện chịu lực tiết diện vòng khuyên hợp lí hơn tiết diện tròn, nhưng thi công phức tạp hơn.

Tiết diện vòng khuyên thường được cấu tạo với chiều dày $\delta < \frac{1}{4}D$ (D - đường kính ngoài), cốt thép được đặt theo chu vi với số lượng từ 6 thanh trở lên. Với tiết diện vừa phải và số lượng cốt thép không nhiều thì cốt thép chỉ đặt một lớp, trên một vòng tròn

đường kính D_a. Với tiết diện lớn, số lượng cốt thép nhiều, có thể đặt cốt thép thành hai lớp (hình 4.2a) với đường kính trung bình D_a. Trường hợp đặc biệt khi D khá bé có thể cấu tạo tiết diện với $\delta > \frac{1}{4}D$ và số lượng cốt thép ít hơn 6 thanh (hình 4.2c).

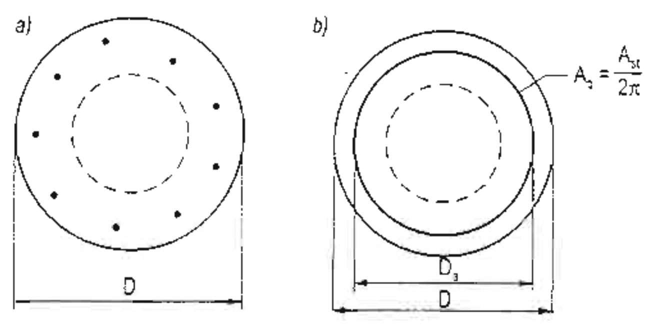
Với tiết diện tròn:

Diện tích tiết diện $A_b = \frac{1}{4}\pi D^2 = \pi r^2$

Mômen quán tính $J = \frac{1}{64}\pi D^4 = \frac{1}{4}\pi r^4$

4.1.2. Giả thiết về cốt thép

Trong tiết diện tròn và vòng khuyên có cốt thép đặt đều theo chu vi, để thuận tiện cho việc lập công thức tính toán người ta giả thiết cốt thép được phân bố đều trên vòng tròn đường kính D_a với mật độ là $A_q = \frac{A_{st}}{2\pi}$, tính trên cung 1 radian. A_{st} là diện tích toàn bộ cốt thép dọc. $D_a = D - 2a$ với a là khoảng cách từ tâm cốt thép đến mép ngoài tiết diện. Khi bố trí cốt thép trên hai vòng tròn (hình 4.2a) mà ở mỗi vòng số cốt thép bằng nhau thì D_a là đường kính trung bình của hai vòng đó. Chính vì muốn dùng giả thiết này mà có yêu cầu số lượng cốt thép không ít hơn 6 thanh. Nếu số thanh cốt thép ít hơn 6 thì không dùng được giả thiết này.



Hình 4.3. Sơ đồ tính toán của tiết diện

4.1.3. Sơ đồ ứng suất

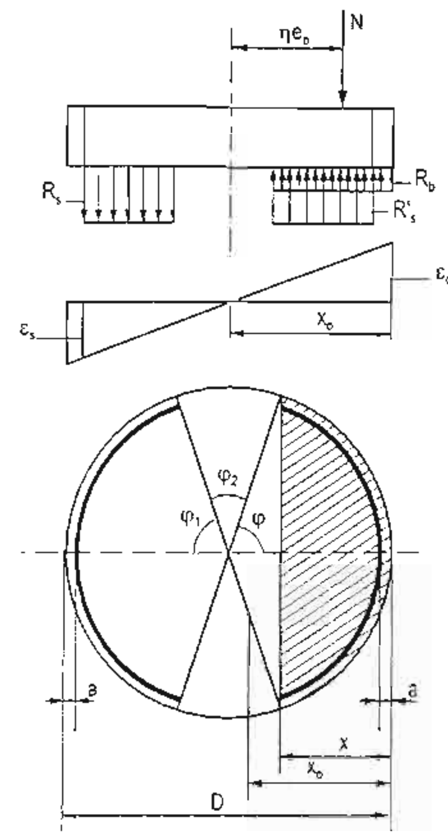
Trong trường hợp thông thường, khi chịu nén lệch tâm tiết diện được chia thành hai vùng: nén và kéo. Trục trung hoà cách mép chịu nén một khoảng x_o. Cũng giống như trong tiết diện chữ nhật, lấy chiều cao tính đổi của vùng nén là x ($x < x_o$) và xem rằng trong phạm vi đó ứng suất trong bêtông vùng nén phân bố đều, bằng cường độ tính toán R_b.

Giới hạn của vùng nén là một đường thẳng vuông góc với mặt phẳng uốn và mép vùng nén được chắn bởi góc 2φ (hình 4.4).

Xem rằng cốt thép chịu nén cũng được giới hạn trong phạm vi góc 2φ và ứng suất phân bố đều, đạt giá trị cường độ tính toán R_{sc}.

Trong vùng kéo, bỏ qua sự chịu lực của bêtông và chỉ kể đến sự làm việc của cốt thép chịu kéo trong phạm vi góc $2\varphi_1$. Bỏ qua sự chịu lực của cốt thép trong phạm vi góc φ_2, trong phạm vi đó một phần cốt thép chịu kéo, một phần chịu nén và ứng suất đều rất bé. $\varphi_1 = \pi - \varphi - \varphi_2$.

Trên biểu đồ biến dạng, thể hiện ε_c là biến dạng lớn nhất của mép bêtông vùng nén, ε_s là biến dạng lớn nhất của cốt thép chịu kéo.



Hình 4.4. Sơ đồ ứng suất tính toán

Để đơn giản hoá việc tính toán giả thiết trong phạm vi cung $2\varphi_1$ ứng suất trong cốt thép chịu kéo phân bố đều, có giá trị R_s.

Đặt $\varphi_2 = v_2\varphi$ thì $\varphi_1 = \pi - (1 + v_2)\varphi$. Giá trị v_2 phụ thuộc vào góc φ. Khi φ là khá bé $v_2 > 1$ và giảm xuống nhanh chóng khi φ tăng lên. Với các giá trị trung bình, thường gặp của φ bằng $(0{,}3 \div 0{,}6)\pi$ thì v_2 thay đổi trong khoảng 0,6 đến 0,45. Theo tiêu chuẩn TCXDVN 356 thì lấy $v_2 = 0{,}5 + 6R_s10^{-4}$.

4.1.4. Điều kiện tính toán, công thức cơ bản

4.1.4.1. Nội lực tính toán

Nội lực tính toán gồm mômen M và lực dọc N được đưa về thành lực N đặt cách trục cấu kiện một đoạn ηe_0 với $\eta \geq 1$ là hệ số xét đến uốn dọc, xác định theo công thức (1.11).

4.1.4.2. Điều kiện về độ bền

Để đảm bảo độ bền cần thoả mãn các điều kiện chung (1.19), (1.20). Với tiết diện tròn và vòng khuyên, trục để lấy mômen M_u và M_{gh} là đường thẳng vuông góc với mặt phẳng uốn và đi qua trọng tâm của tiết diện. Điều kiện bền được viết thành:

$$N = N_{gh} = N_B + N'_A - N_A \tag{4-1}$$

$$N\eta e_o \le M_{gh} = M_B + M'_A + M_A \tag{4-2}$$

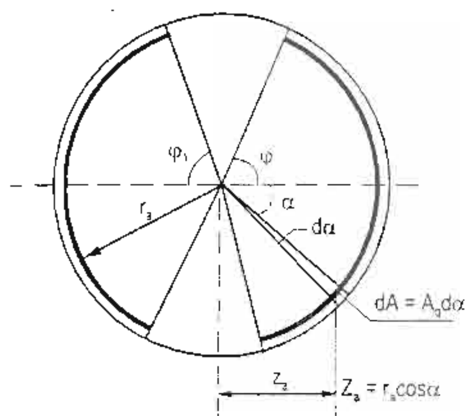
N_B, N'_A, N_A - hình chiếu của nội lực trong bêtông vùng nén, cốt thép chịu nén và cốt thép chịu kéo lên phương trục cấu kiện.

M_B, M'_A, M_A - mômen của các lực kể trên lấy đối với trục đi qua trọng tâm của tiết diện.

4.1.4.3. Nội lực trong cốt thép

Trong tiết diện tròn và vòng khuyên, nội lực N'_A, N_A, M'_A, M_A được tính toán giống nhau. Chỗ khác nhau giữa hai tiết diện là cách xác định N_B và M_B.

Cốt thép vùng nén được giới hạn bởi góc 2φ, diện tích sẽ là $A'_s = \frac{A_{st}}{2\pi} \cdot 2\varphi = \frac{A_{st}}{\pi}\varphi$. Cốt thép vùng kéo sẽ là $A_s = \frac{A_{st}}{\pi}\varphi_t$.



Hình 4.5. Sơ đồ tính nội lực trong cốt thép

$$N_A = \frac{A_{st}}{\pi}R_s\varphi_t \; ; \; N'_A = \frac{A_{st}}{\pi}R_{sc}\varphi \tag{4-3}$$

Mômen M_A, M'_A được xác định theo phương pháp tích phân. Lấy biến số là góc α như trên hình 4.5 với vi phân $d\alpha$. Vi phân của diện tích cốt thép là $dA = A_q d\alpha = \frac{A_{st}}{2\pi}d\alpha$.

$$M'_A = 2\int_0^{\varphi} R_{sc} dA Z_a = \frac{A_{st}}{\pi}R_{sc}r_a\int_0^{\varphi}\cos\alpha d\alpha = \frac{R_{sc}A_{st}}{\pi}r_a\sin\varphi \tag{4-4a}$$

$$M_A = 2\int_0^{\varphi_t} R_s dA Z_a = \frac{R_s A_{st}}{\pi}r_a\sin\varphi_t \tag{4-4b}$$

TCXDVN 356 - 2005 đặt $\varphi_s = \frac{\varphi_t}{\pi}$ và đưa ra công thức thực nghiệm:

$\varphi_s = \omega_1 - \omega_2\xi$ với $\xi = \frac{\varphi}{\pi}$.

$\omega_1 = \eta_r - \frac{\sigma_{sp}}{R_s}$; $\omega_2 = \omega_1\delta$;

$$\delta = 1 + v_2 = 1,5 + 6R_s10^{-4}.$$

η_r - hệ số, lấy tuỳ thuộc vào loại cốt thép. Với cốt thép có giới hạn chảy thực tế (CI, CII, CIII) lấy $\eta_r = 1$. Với cốt thép có giới hạn chảy quy ước (CIV, AIV...) lấy $\eta_r = 1,1$.

σ_{sp} - ứng suất trong cốt thép ứng lực trước. Với các cột bằng bê tông cốt thép thường thì $\sigma_{sp} = 0$.

Với các cột bằng BTCT thông thường dùng các cốt thép có giới hạn chảy thì:

$$\varphi_s = 1 - \delta\xi$$

$$N_A = A_{st}R_s\varphi_s \tag{4-3a}$$

TCXDVN 356 trình bày cách tính M_A theo công thức (4-5):

$$M_A = N_AZ_s = A_{st}R_s\varphi_sZ_s \tag{4-5}$$

Z_s - khoảng cách từ điểm đặt N_A đến trọng tâm tiết diện; $Z_s = \dfrac{r_s \sin\varphi_1}{\varphi_1}$

TCXDVN 356 - 2005 đưa ra công thức thực nghiệm xác định Z_s:

$$Z_s = (0,2 + 1,3\xi)r_s \tag{4-6}$$

4.1.4.4. Các trường hợp tính toán

TCXDVN 356 - 2005 đưa ra hai trường hợp tính toán phụ thuộc vào $\xi = \dfrac{\varphi}{\pi}$. Khi $\xi \geq 0.15$ thì trong công thức (4-3a) dùng $\varphi_s = \omega_1 - \omega_2\xi$.

Khi $\xi < 0,15$ thì lấy $\xi = 0,15$ để xác định φ_s và Z_s.

Trong các trường hợp, khi tính được $\varphi_s < 0$ thì lấy $\varphi_s = 0$ và trong các công thức lấy $\omega_1 = \omega_2 = 0$.

4.2. TÍNH TOÁN TIẾT DIỆN TRÒN

4.2.1. Nội lực trong bêtông vùng nén

Dùng phương pháp lấy tích phân. Biến số là góc α và $d\alpha$ như trên hình 4.6. Vi phân diện tích vùng nén là dB.

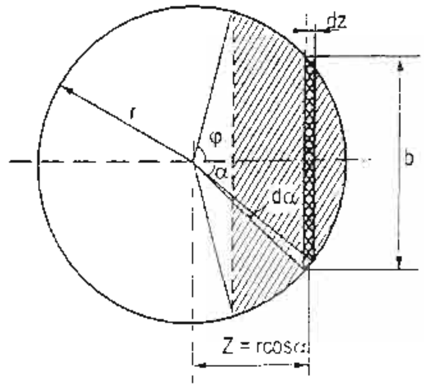
$$dB = bdZ;\ b = 2r\sin\alpha\ ;\ Z = r\cos\alpha\ ;\ dZ = r\sin\alpha d\alpha.$$

$$N_B = \int_0^{\varphi} R_b dB = 2R_b r^2 \int_0^{\varphi} \sin^2\alpha d\alpha = \frac{R_bA_b}{\pi}\left(\varphi - \frac{\sin 2\varphi}{2}\right) \tag{4-7}$$

$$M_B = \int_0^{\varphi} R_b dBZ = 2R_b r^3 \int_0^{\varphi} \sin^2\alpha\cos\alpha d\alpha = \frac{2}{3}R_b r^3(\sin\varphi)^3$$

$$M_B = \frac{2}{3\pi} R_b A_b r \sin^3\varphi \tag{4-8}$$

Trong công thức (4-7) đã dùng $A_b = \pi r^2$, như vậy $r^2 = \frac{A_b}{\pi}$.



Hình 4.6. Sơ đồ tính nội lực trong bê tông

4.2.2. Công thức cơ bản

Tính toán cần tuân theo điều kiện (4-1), (4-2) trong đó các thành phần của N_{gh} và M_{gh} được xác định theo công thức (4-3), (4-4), (4-5), (4-7), (4-8). Kết quả là:

$$M_{gh} = \frac{2}{3\pi} R_b A r \sin^3\varphi + \frac{R_{sc}A_{st}}{\pi} r_a \sin\varphi + R_s A_{st}\varphi_s Z_s \tag{4-9}$$

$$N_{gh} = \frac{R_b A}{\pi}\left(\varphi - \frac{\sin 2\varphi}{2}\right) + \frac{R_{sc}A_{st}}{\pi}\varphi - R_s A_{st}\varphi_s \tag{4-10}$$

4.2.3. Bài toán kiểm tra khả năng chịu lực

Biết kích thước tiết diện và cốt thép, chiều dài tính toán l_o, kiểm tra xem tiết diện có đủ khả năng chịu cặp nội lực M, N.

Tra các số liệu R_b; E_b; R_s.

Xác định a theo cấu tạo, tính r, $r_a = r - a$; diện tích tiết diện A, diện tích toàn bộ cốt thép A_{st}.

Xét ảnh hưởng của uốn dọc. $\lambda_D = \frac{l_o}{D}$. Khi $\lambda_D \le 7$ lấy $\eta = 1$. Khi $\lambda_D > 7$ tính J, N_{th} và η.

Tính $e_1 = \frac{M}{N}$. Xét độ lệch tâm ngẫu nhiên e_a.

với kết cấu tĩnh định $e_o = e_1 + e_a$.

với kết cấu siêu tĩnh $e_o = \max(e_1, e_a)$.

$$M^* = N\eta e_o.$$

Giả thiết có $\xi = \frac{\varphi}{\pi} \ge 0{,}15$. Cho $N = N_{gh} = $ (4-10), với $\varphi_s = \omega_1 - \omega_s\xi$ rút ra phương trình:

$$\varphi = \frac{\pi(N + R_s A_{st}\omega_1) + 0,5R_b A \sin 2\varphi}{R_b A + A_{st}(R_{sc} + \omega_2 R_s)} \tag{4-11}$$

Nếu tính được $\varphi = \frac{\varphi}{\pi} < 0,15$ thì lấy ξ = 0,15 để tính φ_s và Z_s và xác định φ theo phương trình (4-12).

$$\varphi = \frac{\pi(NR_s A_{st}\varphi_s) + 0,5R_b A \sin 2\varphi}{R_b A + R_{sc} A_{st}} \tag{4-12}$$

Giải phương trình siêu việt (4-11) hoặc (4-12) có thể dùng chương trình máy tính, dùng phương pháp đồ thị hoặc gần đúng dần.

Có được φ dùng công thức (4-9) để xác định M_{gh} và kiểm tra theo điều kiện (4-2).

4.2.4. Tính toán cốt thép

Biết kích thước tiết diện, chiều dài tính toán l_o, yêu cầu tính toán cốt thép A_{st} đủ để chịu cặp nộii lực M, N.

Chuẩn bị các số liệu R_b, E_b, R_s. Giả thiết chiều dày lớp đệm a, tính r, r_a, diện tích tiết diện A.

Xét ảnh hưởng uốn dọc, xác định η: tính e_o và $M^* = N\eta e_o$.

Hiện tại chưa có phương pháp tính trực tiếp ra được A_{st} mà thường phải dùng cách tính gần đúng dần và tốt nhất là lập chương trình cho máy tính. Có thể lập chương trình tính theo phương pháp số gia giới nội như sau:

Chọn một giá trị φ_a để bắt đầu tính toán:

$$\varphi = \varphi_a = \frac{\psi_a N}{AR_b}$$

có thể lấy ϕ_a = 1,5 ÷ 2,5 và $\Delta\varphi$ = 0,08 ÷ 0,12.

Tính $\sin\varphi$, $\sin^3\varphi$, $\sin 2\varphi$ và từ điều kiện $N\eta e_o = M_{gh}$ = (4-a) rút ra:

$$A_{st} = \frac{N\eta e_o' - \frac{2}{3\pi} R_b A r \sin^3\varphi}{\frac{1}{\pi} R_{sc} r_a \sin\varphi + R_s \varphi_s Z_s} \tag{4-13}$$

Với A_{st} và φ đã có, tính giá trị N_{gh} theo công thức (4-10)

So sánh N_{gh} vừa tính được với N. Khi mà $N_{gh} < N$ thì tiếp tục tính với giá trị mới của $\varphi = \varphi_1 + \Delta\varphi$ cho đến khi đạt được $N_{gh} \geq N$.

Giá trị cần thiết của A_{st} ứng với trường hợp $N = N_{gh}$.

Trường hợp không có điều kiện lập và sử dụng chương trình máy tính thì cũng có thể theo phương pháp trên để tính bằng tay và để giảm nhẹ khối lượng tính toán thì sau mỗi lần tính cần phân tích kết quả nhận được để chọn $\Delta\varphi$ thích hợp.

4.2.5. Thí dụ tính toán

Thí dụ 1: Cho cột tròn thuộc kết cấu siêu tĩnh đường kính D = 40cm, bêtông cấp cường độ 25, chiều dài tính toán l_o = 3m; cốt thép đặt đều theo chu vi 8ϕ20 loại thép RB400. Yêu cầu kiểm tra xem cột có đủ khả năng chịu cặp nội lực N = 800 kN; M = 176kNm.

Số liệu: cấp cường độ 25 có cường độ tính toán gốc 14,5 MPa; E_b = 30000 MPa. Cốt thép RB 400.

Có $R_s = R'_s = 365$MPa.

Lớp bảo vệ 3cm; a = 3 + ϕ/2 = 4cm.

$$r = 0{,}5D = 20cm = 200mm;\ r_a = 160mm$$

$$A = \pi r^2 = 3{,}14 \times 200^2 = 125600mm^2;\ A_{st} = 8\phi20 = 2510mm^2$$

Xét uốn dọc: $\lambda_D = \dfrac{l_o}{D} = \dfrac{3000}{400} = 7{,}5 > 7$

$$J = \frac{\pi D^4}{64} = \frac{3{,}14}{64} \times 400^4 = 12{,}566 \times 10^8\, mm^4$$

$$N_{th} = \frac{2{,}5E_bJ}{l_o^2} = \frac{2{,}5 \times 30000 \times 12{,}566 \times 10^8}{3000^2} = 10470000\,\text{Niu}$$

$$N_{th} = 10470kN$$

$$\eta = \frac{1}{1 - \dfrac{N}{N_{th}}} = \frac{1}{1 - \dfrac{800}{10470}} = 1{,}08$$

$e_1 = \dfrac{M}{N} = \dfrac{176}{800} = 0{,}22m = 220mm$; Độ lệch tâm ngẫu nhiên e_a = 20mm

$$e_o = \max(e_1, e_a) = 220m.$$

$$N\eta e_o = 800 \times 1{,}08 \times 0.22 = 190{,}08\ kNm$$

Theo phương pháp gần đúng dần, giả thiết φ_a tính $\sin 2\varphi_a$, tính lại φ_b theo (4-13a), so sánh φ_b và φ_a.

Cốt thép RB400 có giới hạn chảy, lấy $\omega_1 = 1$; $\delta = 1{,}5 + 6R_s10^{-4} = 1{,}72$.

$\omega_2 = \omega_1\delta = 1{,}72$. Theo (4-11) có:

$$\varphi = \frac{3.1416(800000 + 365 \times 2510) + 0,5 \times 14,5 \times 125600 \sin 2\varphi}{14,5 \times 125600 + (365 + 1,72 \times 365)2510}$$

$\varphi = 1,25 + 0.211\sin\varphi$.

Giải phương trình bằng phương pháp gần đúng dần.

Giả thiết $\varphi_a = 1,5$; $\sin 2\varphi_a = 0,1412$.

$\varphi_b = 1,25 + 0,211 \times 0,1412 = 1,28$. Nhỏ hơn $\varphi_a = 1,5$ đã giả thiết.

Lấy $\varphi_a = 1,35$; $\sin 2\varphi_a = 0,42738$; tính lại được $\varphi_b = 1,34$.

Lấy $\varphi_a = 1,343$ tính ra $\varphi_b = 1,3428$. Chấp nhận $\varphi = 1,343$.

$$\xi = \frac{\varphi}{\pi} = \frac{1,343}{3,14} = 0,4275 > 0.15.$$

$\sin\varphi = 0.974$; $\sin^3\varphi = 0,924$; $\sin 2\varphi = 0,44$.

Xác định M_{gh} theo (4-9):

$$M_{gh} = \frac{2}{3\pi} R_b A r \sin^3\varphi + \frac{R_{sc}}{\pi} A_{st} r_a \sin\varphi + R_s A_{st} \varphi_s Z_s$$

Trong đó $\varphi_s = \omega_1 - \omega_2\xi = 1 - 1,72\xi = 1 - 1,72 \times 0,4275 = 0,2647$

Z_s $(0,2 + 1,3\xi)r_a = (0,2 + 1,3 \times 0,4275)160 = 121$mm.

$$M_{gh} = \frac{2}{3\pi} \times 14,5 \times 125600 \times 200 \times 0,924 + \frac{1}{\pi} \times 365 \times 2510 \times 160 \times 0,974 +$$

$$+ 365 \times 2510 \times 0,2647 \times 121 = 146,2 \times 10^6$$

$N\eta e_o = 190.08 > M_{gh}$. Tiết diện chưa đủ khả năng chịu lực.

Thí dụ 2. Với số liệu như thí dụ 1 nhưng chưa có cốt thép. Yêu cầu tính toán cốt thép cần thiết.

Giả thiết a = 40mm; r_a = 160mm, tính toán theo phương pháp gần đúng dần

Tính A_{st} theo (4-13) trong đó $\omega_1 = 1$; $\delta = 1,5 + 6R_s10^{-4} = 1,72$; $\omega_2 = \omega_1\delta = 1,72$

$\varphi_s = \omega_1 - \omega_2\xi = 1 - 1,72\xi = 1 - 0,5475\varphi$

$Z_s = (0,2 + 1,3\xi)r_a = (0,2 + 0,4138\varphi)\ 160$

$$A_{st} = \frac{N\eta e_o - \frac{2}{3\pi} R_b A r \sin^3\varphi}{\frac{1}{\pi} R_{sc} r_a \sin\varphi + R_s \varphi_s Z_s} = \frac{190,08 \times 10^6 - \frac{2}{3\pi} \times 14,5 \times 125600 \times 200 \times \sin^3\varphi}{\frac{1}{\pi} \times 365 \times 160 \times \sin\varphi + 365\varphi_s Z_s}$$

$$A_{st} = \frac{(190,08 - 77,294\sin^3\varphi)10^5}{18,59\sin\varphi + 0,365\varphi_s Z_s}$$

Đầu tiên lấy $\varphi = \frac{2.5N}{R_b A} = \frac{2,5 \times 800000}{14,5 \times 125600} = 1,1$ Radian ;

$$\xi = \frac{\varphi}{\pi} = \frac{1,1}{3,14} = 0,35 > 0.15 \text{ ; } \sin\varphi = 0,8912; \quad \sin 2\varphi = 0,8085;$$

$$\sin^3\varphi = 0,7078; \quad \varphi_s = 1 - 0,5475\varphi = 0,39775 \text{ ;}$$

$$Z_s = (0,2 + 0,4138\varphi)160 = 104,8 \text{ mm}$$

$$A_{st} = \frac{(109.08 - 77,294 \times 0,7078)10^6}{18.59 \times 0.8912 + 0,365 \times 0,39775 \times 104,8} = 4258 \text{ mm}^2$$

Tính N_{gh} theo công thức (4-10):

$$N_{gh} = \frac{R_b A}{\pi}(\varphi - 0,5\sin 2\varphi) + \frac{R_{sc} A_{st}}{\pi}\varphi - R_s A_{st}\varphi_s$$

$$N_{gh} = 579700\,(\varphi - 0,5\sin2\varphi) + (116,18\varphi - 365\varphi_s)A_{st}.$$

Với $\varphi = 1,1$; $\sin2\varphi = 0,8085$; $\varphi_s = 0,39775$ tính được $N_{gh} = 329000$.

Giá trị N_{gh} tính được khá bé so với N = 800000.

Lấy $\varphi = 1,3$; $\xi = \frac{\varphi}{\pi} = 0,4182$; tính được $\varphi_s = 0,2887$; $Z_s = 118$mm; $\sin\varphi = 0,963558$; $\sin^3\varphi = 0,8946$; $\sin 2\varphi = 0,5155$. Tính được $A_{st} = 3985$. Với $A_{st} = 3985$ và $\varphi = 1,3$ tính lại được $N_{gh} = 786170$; gần với N = 800000. Lấy $\varphi = 1,35$ tính được $A_{st} = 3989$ và N = 905000.

$\varphi = 1,3$	$A_{st} = 3985$	N = 786170
$\varphi = 1,35$	$A_{st} = 3989$	N = 905000

Suy ra với N = 800000, lấy $\varphi = 1,31$ và $A_{st} = 3986$ mm²; $\mu_s = 3.1\%$.

4.2.6. Đánh giá và xử lí kết quả

Cốt thép tính được có thể là dương hoặc âm. Khi tính được $A_{st} > 0$ nên tính tỉ lệ cốt thép $\mu_s = \frac{A_{st}}{A_b}$. Điều kiện $\mu_{min} \le \mu_s \le \mu_{max}$. Thông thường $\mu_{min} = 0,005$ và $\mu_{max} = 0,06$ (6%).

Khi μ_s quá bé hoặc $A_{st} \le 0$ chứng tỏ kích thước tiết diện quá lớn, nếu có thể thì nên giảm kích thước tiết diện và tính lại, nếu không, cần đặt cốt thép theo yêu cầu tối thiểu. Khi có μ_s quá lớn chứng tỏ kích thước tiết diện quá bé, cần tăng kích thước hoặc tăng mác bêtông (hoặc tăng cả hai).

4.2.7. Biểu đồ tương tác

Việc tính toán cốt thép hoặc kiểm tra khả năng chịu lực sẽ trở nên đơn giản hơn rất nhiều khi lập được họ biểu đồ tương tác không thứ nguyên.

4.2.7.1. Lập họ biểu đồ

Biểu đồ được lập với hai trục biểu diễn thông số n, m:

$$n = \frac{N}{R_b A}; \qquad (4\text{-}14)$$

$$m = \frac{N\eta e_o}{R_b A r} \qquad (4\text{-}15)$$

$$\alpha = \frac{R_s A_{st}}{R_b A} \qquad (4\text{-}16)$$

Chọn thông số $\beta_a = \frac{r_a}{r}$

Với các loại cốt thép có giới hạn chảy và $R_s \leq 400$MPa có $R_{sc} = R_s$ và $\omega_1 = 1$.

$\delta = 1,5 + 6R_s 10^{-4}$; $\varphi_s = 1 - \delta\xi$; Khi $\varphi_s < 0$ thì lấy $\varphi_s = 0$.

$Z_s = (0.2 + 1,3\xi)r_a = \beta_a (0.2 + 1.3\xi)\, r$

Biến đổi công thức (4-9) và (4-10) thành:

$$n = \xi\,(1 + \alpha) - 0.159\sin2\varphi - \alpha\varphi_s \qquad (4\text{-}17)$$

$$m = 0.2122\,\sin^3\varphi + 0.3183\beta_a\alpha\sin\varphi + \beta_a\alpha\varphi_s(0.2 + 1.3\xi) \qquad (4\text{-}18)$$

Ứng với mỗi giá trị R_s và α chọn trước, cho ξ thay đổi. Với mỗi giá trị của ξ tìm được một cặp giá trị của n và m. Tập hợp các giá trị của n và m có được một biểu đồ ứng với α. Cho α nhiều giá trị khác nhau sẽ có được một họ biểu đồ. Khi vẽ biểu đồ cần loại bỏ các cặp có $n < 0$.

Thí dụ vẽ biểu đồ tương tác với $\beta_a = \frac{r_a}{r} = 0.9$; $R_s = 280$MPa.

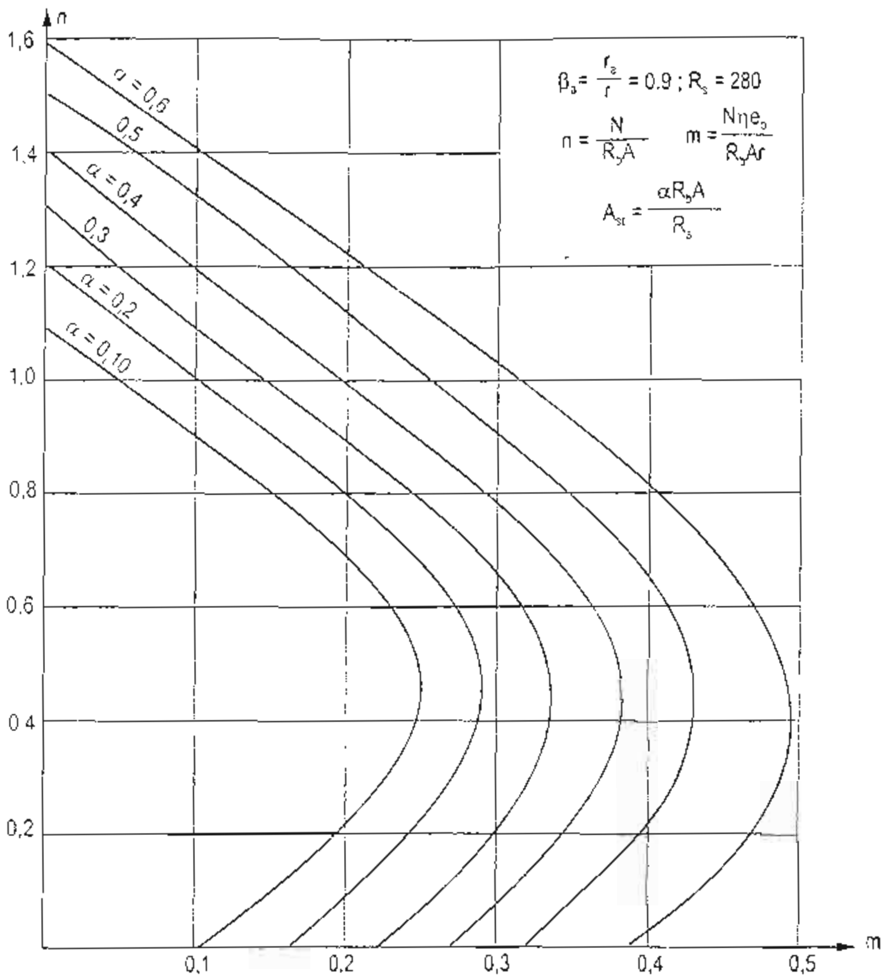
Tính toán: $\delta = 1.5 + 6R_s 10^{-4} = 1.668$.

$\varphi_s = 1 - \delta\xi = 1 - 1,668\xi$; Lấy $\alpha = 0.20$.

Cho ξ thay đổi, kết quả tính toán ghi trong bảng.

ξ	0.12	0.2	0,28	0.36	0,44	0.52	0.60	0,68	0,76	0,84	0.92	1.0
$\varphi = \xi\pi$	0,3770	0,6283	0.8796	1,1310	1,3823	1,6336	1.8850	2,1363	2.3876	2,6390	2.8900	3,1416
$\sin\varphi$	0,3681	0,5877	0,7705	0,9048	0,9823	0,9980	0,9510	0,8443	0,6848	0,4818	0,2414	0,00
$\sin^3\varphi$	0,0499	0,2030	0,4574	0,7407	0,9478	0,9940	0,8600	0,6006	0,3208	0,1119	0,0154	0,00
$\sin^2\varphi$	0,6845	0,9510	0,9823	0,7704	0,3683	-0,1253	-0,5877	-0,9047	-0,9980	-0,8450	-0,4820	0,00
φ_s	0,7998	0,6664	0,5330	0,3995	0,2661	0,1237	0,00	0.00	0,00	0,00	0.00	0.00
n	0,1.246	-0,04450	0,0732	0,2296	0,4162	0,6292	0,8135	0,9600	1,070	1,1420	1,160	1,20
m	0,0824	0,1282	0,1952	0,2569	0,2942	0,2875	0,2369	0,1760	0,1703	0,0513	0,0170	0,00

Hình 4.7 giới thiệu một họ biểu đồ với $\alpha = 0,1 \div 0,6$. Tuy trên hình có ghi đầy đủ các số liệu nhưng mang tính tượng trưng là chủ yếu, chưa đủ độ chính xác để dùng cho thiết kế thực tế. Ở phụ lục 10 có cho một số biểu đồ có thể dùng để thiết kế.



Hình 4.7. Thí dụ về họ biểu đồ tương tác tiết diện tròn

4.2.7.2. Cách dùng biểu đồ

Họ biểu đồ tương tác không thứ nguyên của tiết diện tròn cũng được dùng tương tự như đối với tiết diện chữ nhật đã trình bày ở mục 2.5.6.

Để tính toán cốt thép cần giả thiết a, tính $\beta_a = \frac{r_a}{r}$ chọn dùng họ biểu đồ với β_a và R_s thích hợp. Tính các giá trị n, m và tra biểu đồ, tìm được giá trị α cần thiết. Thông thường để có được α cần phải nội suy. Diện tích toàn bộ cốt thép A_{st} tính theo công thức (4-19):

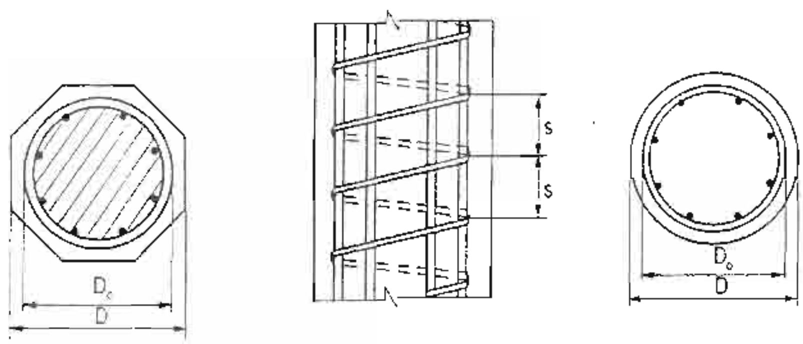
$$A_{st} = \frac{\alpha R_b A}{R_s} \tag{4-19}$$

Để kiểm tra khả năng chịu lực khi đã biết cấu tạo của cốt thép, dùng công thức (4-16) tính ra α. Từ họ biểu đồ trích ra biểu đồ ứng với α đã biết. Tính giá trị n, m và có được một điểm. Khi điểm đó nằm ở miền trong của biểu đồ thì tiết diện đủ khả năng chịu lực.

4.3. CẤU KIỆN CÓ CỐT ĐAI LÒ XO

4.3.1. Đặc điểm cấu tạo

Cốt đai lò xo được uốn thành các vòng tròn liên tục từ các sợi thép khá dài. Đường kính sợi thép 5 ÷ 8mm, có thể đến 10mm. Gọi D_o là đường kính của vòng tròn tính đến trục cốt thép lò xo và s là bước lò xo (là khoảng cách của các cốt đai).



Hình 4.8. Cấu kiện có cốt đai lò xo

Ngoài các quy định đối với cốt thép đai trong cấu kiện chịu nén thì bước của lò xo được giới hạn trong khoảng $s = \left(\frac{1}{4} \div \frac{1}{8}\right)D_o$. Nên chọn $s \leq \frac{1}{5}D_o$ (hình 4.6).

Cốt đai lò xo ôm lấy toàn bộ cốt thép dọc được đặt phân đều trên một vòng tròn. Tiết diện của cấu kiện có thể là tròn hoặc đa giác đều.

4.3.2. Sự làm việc của cấu kiện

Khi bị nén, bêtông ngoài biến dạng co ngắn còn bị nở ngang. Thực nghiệm cho biết nếu hạn chế được sự nở ngang của bêtông sẽ làm tăng được một cách đáng kể khả năng chịu nén cũng như biến dạng dọc cực hạn của nó.

Dùng cốt thép đai lò xo là nhằm mục đích trên.

Gọi phần bêtông nằm bên trong cốt đai lò xo là lõi, phần nằm bên ngoài là lớp bảo vệ.

Thí nghiệm nén cấu kiện cho đến lúc lớp bêtông bảo vệ bị phá vỡ hoàn toàn thì phần lõi vẫn chưa bị phá hoại và còn tiếp tục chịu được lực nén tăng thêm nữa. Cốt đai lò xo đã có tác dụng cản trở biến dạng nở ngang của bêtông phần lõi và khi cấu kiện chịu nén thì cốt đai lò xo chịu kéo. Lõi bị phá hoại khi ứng suất kéo trong cốt đai lò xo đạt đến

giới hạn chảy, cốt đai có biến dạng lớn, không đủ khả năng ngăn cản biến dạng ngang của bêtông lõi.

4.3.3. Điều kiện sử dụng, công thức tính toán

Cột có cốt đai lò xo được sử dụng để tăng khả năng chịu nén, làm giảm bớt kích thước tiết diện cột. Thông thường chỉ nên dùng cho các cột ngắn (không bị uốn dọc) và chịu nén đúng tâm hoặc nén lệch tâm với độ lệch tâm rất bé ($e_o \le 0,1\ D_o$). Khi cột có độ mảnh lớn (bị ảnh hưởng đáng kể của uốn dọc) hoặc chịu nén lệch tâm lớn thì dùng cốt đai lò xo không có hiệu quả.

Tính toán khả năng chịu nén của cột người ta chỉ kể đến sự làm việc của bêtông phần lõi, của cốt thép dọc và ảnh hưởng của cốt đai lò xo mà bỏ qua lớp bêtông bảo vệ.

Tính toán cấu kiện chịu nén đúng tâm, không bị uốn dọc được tiến hành theo điều kiện (4-20):

$$N \le N_{gh} = (R_b A_L + R_{sc} A_{st} + 2R_s A_{lx}) \qquad (4\text{-}20)$$

Trong đó: $A_L = \frac{1}{4}\pi D_o^2$ - diện tích tiết diện lõi;

A_{st} - diện tích toàn bộ cốt thép dọc;

R_s - cường độ tính toán về kéo của cốt đai lò xo;

A_{lx} - diện tích tính đổi của cốt đai lò xo:

$$A_{lx} = \frac{\pi D_o a_{lx}}{s}$$

a_{lx} - diện tích tiết diện ngang của cốt đai lò xo.

Tính toán cấu kiện nén lệch tâm khi độ mảnh cấu kiện $\lambda = \frac{l_o}{i} < 35$ được tiến hành theo tiết diện tròn đường kính D_o, trong đó thay giá trị R_b bằng R_{btc} là cường độ bê tông đã được tăng cao nhờ tác dụng của cốt lò xo.

$$R_{btc} = R_b + 2\mu_{lx} R_s \left(1 - \frac{7,5e_o}{D_o}\right) \qquad (4\text{-}21)$$

$$\mu_{lx} = \frac{4a_{lx}}{D_o s}$$

Trong tính toán chỉ kể đến tác dụng của cốt thép lò xo khi mà kể đến nó sẽ làm tăng khả năng chịu lực (hoặc giảm được cốt thép A_{st}). Nếu kể đến cốt lò xo mà không đạt hiệu quả như vừa nêu thì tính toán theo tiết diện nguyên, đường kính D, không kể đến cốt lò xo.

4.4. TIẾT DIỆN VÒNG KHUYÊN

4.4.1. Số liệu về tiết diện

Tiết diện vòng khuyên có các kích thước như sau:

r_1 - bán kính trong;

r_2 - bán kính ngoài

$r_o = 0.5\,(r_1 + r_2)$ - bán kính trung bình;

$\delta_o = r_2 - r_1$ - chiều dày. Thông thường có $\delta_o \le 0.5r_2$ (hoặc $r_1 \ge 0.5r_2$).

A - diện tích của tiết diện bêtông:

$$A = \pi(r_2^2 - r_1^2) = 2\pi r_o \delta_o$$

J - mômen quán tính của tiết diện:

$$J = \frac{\pi}{4}\left(r_2^4 - r_1^4\right)$$

i - bán kính quán tính:

$$i = \sqrt{\frac{J}{A}} = 0.5\sqrt{r_2^2 + r_1^2}$$

A_{st} - diện tích toàn bộ cốt thép dọc.

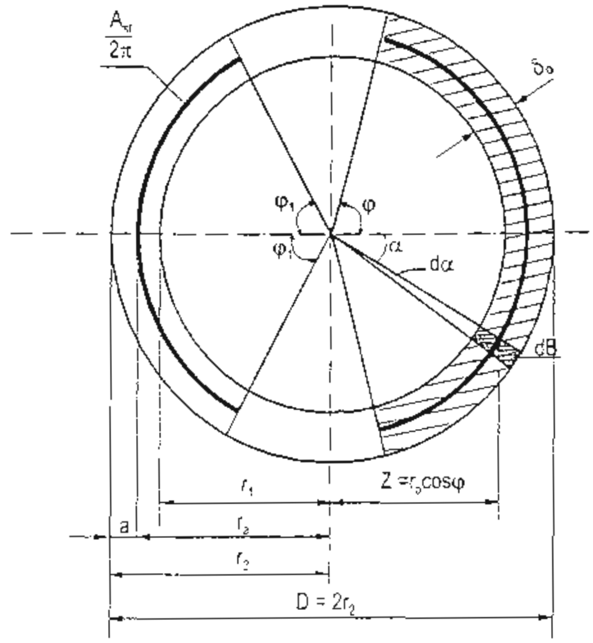
r_a - bán kính vòng cốt thép.

Trường hợp số lượng cốt thép không quá nhiều thì tất cả các thanh được đặt trên một vòng tròn đường kính $D_a = 2r_a$. Khi tiết diện khá lớn, số lượng cốt thép nhiều thì có thể bố trí cốt thép trên hai vòng, có diện tích bằng nhau, lúc đó r_a là bán kính trung bình của hai vòng cốt thép (hình 4.2).

4.4.2. Điều kiện và giả thiết

Nội lực tính toán gồm lực nén N, mômen uốn M. Độ mảnh $\lambda = \frac{l_o}{i}$. Khi $\lambda > 28$ cần xét đến uốn dọc, tính N_{th} theo công thức (1.14) và hệ số η theo (1.11). Độ bền được lấy theo điều kiện (4-1) và (4-2). Nội lực trong cốt thép N_A, N'_A, M_A, M'_A được lấy theo mục 4.1.4.3. giống như trong tiết diện tròn.

Nội lực trong bêtông vùng nén được xác định với giả thiết ứng suất phân bố đều, đạt giá trị R_b. Thực tế vùng nén được giới hạn bởi một đường thẳng nhưng để đơn giản hoá việc lập công thức chấp nhận giả thiết vùng nén được giới hạn bởi hai bán kính lập thành góc ở tâm 2φ (vì dùng giả thiết này mà cần điều kiện $\delta_o \le 0{,}5r_2$).



Hình 4-9. Sơ đồ tính toán tiết diện vòng khuyên

4.4.3. Công thức cơ bản

Để lập công thức, dùng biến số góc α và vi phân dα. Vi phân của diện tích vùng nén là dB.

$$dB = \delta_o r_o d\alpha$$

Nội lực của vùng bêtông chịu nén là N_B và M_B.

$$N_B = 2\int_o^{\varphi} R_b dB = 2R_b\delta_o r_o\varphi = \frac{R_b A}{\pi}\varphi$$

$$M_B = 2\int_o^{\varphi} R_b dBZ = 2R_b\delta_o r_o^2 \int_o^{\varphi}\cos\alpha d\alpha$$

$$M_B = 2R_b\delta_o r_o^2 \sin\varphi = \frac{R_b A}{\pi} r_o \sin\varphi \qquad (4\text{-}22)$$

Kết hợp với nội lực trong cốt thép đã lập được, cuối cùng có:

$$N\eta e_o \le M_{gh} = \frac{1}{\pi}(R_b A r_o + R_{sc} A_{st} r_a)\sin\varphi + R_s A_{st}\varphi_s Z_s \qquad (4\text{-}23)$$

$$N = N_{gh} = \frac{\varphi}{\pi}(R_b A + R_{sc} A_{st}) - R_s A_{st}\varphi_s \qquad (4\text{-}24)$$

4.4.4. Kiểm tra khả năng chịu lực

Biết kích thước tiết diện và cấu tạo cốt thép, chiều dài tính toán l_o, yêu cầu kiểm tra xem tiết diện có đủ khả năng chịu cặp nội lực M, N.

Chuẩn bị số liệu: R_b, E_b, R_s, R_{sc}, xác định a theo cấu tạo cốt thép, các bán kính r_1, r_2, r_o, $r_a = r_2 - a$. Tính diện tích tiết diện A, diện tích cốt thép A_{st}. Xét ảnh hưởng uốn dọc, xác định J; N_{th}; η. Tính độ lệch tâm e_1, e_o, ηe_o.

a) Giả thiết $\xi > 0{,}15$. Từ điều kiện $N = N_{gh}$ = (4-24) với $\varphi_s = \omega_1 - \omega_2\xi$ mà $\xi = \dfrac{\varphi}{\pi}$, lập được công thức tính φ:

$$\varphi = \frac{(N + R_s A_{st}\omega_1)\pi}{R_b A + (R_{sc} + \omega_2 R_s)A_{st}} \tag{4-25}$$

Khi $\xi = \dfrac{\varphi}{\pi} \geq 0{,}15$ thì tính φ_s, Z_s theo ξ và tính M_{gh} theo công thức (4-23).

b) Khi mà $\xi < 0{,}15$ thì lấy $\xi = 0{,}15$ để tính φ_s và Z_s.

Tính φ theo công thức (4-26):

$$\varphi = \frac{(N + \varphi_s R_s A_{st})\pi}{R_b A + R_{sc} A_{st}} \tag{4-26}$$

Tính M_{gh} theo (4-23).

4.4.5. Tính toán cốt thép

Biết kích thước tiết diện, cặp nội lực M, N. Yêu cầu tính toán cốt thép. Trước hết cần chuẩn bị số liệu như ở bài toán kiểm tra, xác định được A, r_o, ηe_o.

Giả thiết chiều dày lớp đệm a, tính $r_a = r_2 - a$.

Để tính được cốt thép cần giải đồng thời hai phương trình (4-23) (4-24 trong đó có một phương trình lượng giác. Thông thường giải theo cách gần đúng dần.

Trước hết chọn một giá trị φ, tính $\xi = \dfrac{\varphi}{\pi}$; tính φ_s và Z_s (Nếu $\xi < 0.15$ thì dùng $\xi = 0.15$ để tính φ_s và Z_s). Từ điều kiện (4-23) tính được:

$$A_{st} = \frac{\pi N \eta e_o - R_b A r_o \sin\varphi}{R_{sc} r_a \sin\varphi + \pi \varphi_s Z_s R_s} \tag{4-27}$$

Đem giá trị φ và A_{st} tìm được vào công thức (4-24) để tính N_{gh}:

$$N_{gh} = \frac{\varphi}{\pi}(R_b A + R_{sc} A_{st}) - R_s A_{st} \varphi_s$$

So sánh N_{gh} với N. Dựa vào kết quả so sánh mà chọn lại φ. Giá trị A_{st} và φ được chấp nhận với điều kiện $N = N_{gh}$.

4.4.6. Biểu đồ tương tác

Với tiết diện có kích thước và cốt thép đã biết (như trong bài toán kiểm tra khả năng chịu lực) cần vẽ biểu đồ tương tác với hai trục là N_{gh} và $M_{gh} = N\eta e_o$.

Chọn biến trung gian và độc lập là φ. Cho φ thay đổi trong khoảng φ_b đến π.

$$\varphi_b = \frac{3R_sA_{st}}{R_bA + 2,5R_sA_{st}}$$

Lấy gia số $\Delta\varphi = 0,1 \div 0,25$ hoặc có thể lớn hơn.

Từ φ tính $\xi = \frac{\varphi}{\pi}$, φ_s, Z_s, sinφ.

Với mỗi giá trị của φ tính được một cặp N_{gh} và M_{gh} theo công thức (4-23), (4-24), từ đó vẽ biểu đồ tương tác.

Để lập biểu đồ không thứ nguyên, đặt:

$$n = \frac{N}{R_bA} \quad ; \quad m = \frac{N\eta e_o}{R_bAr_o} \quad ; \quad \beta_a = \frac{r_a}{r_o}$$

Với các loại cốt thép có giới hạn chảy (CI, CII, CIII, RB300, RB400; RB500) và có $R_{sc} = R_s \leq 400$ MPa, lấy $\omega_1 = 1$; $\delta = 1,5 + 6R_s10^{-4}$;

$$\varphi_s = \omega_1 - \omega_2\xi = 1 - \delta\xi.$$

$$Z_s = (0,2 + 1,3\xi)r_a = (0,2 + 1,3\xi)\beta_ar_o$$

$$\alpha = \frac{R_sA_{st}}{R_bA}$$

Dùng công thức (4-23) và (4-24) biến đổi thành:

$$n = \xi(1 + \alpha) - \alpha\,\varphi_s \qquad (4\text{-}28)$$

$$m = \frac{1}{\pi}(1 + \alpha\beta_a)\sin\alpha + \alpha\beta_a\varphi_s(0,2 + 1,3\xi) \qquad (4\text{-}29)$$

Mỗi biểu đồ được lập theo ba thông số β_a, R_s và α khi cho biến số ξ thay đổi. Khi lập biểu đồ cần loại bỏ các cặp giá trị ứng với N < 0 (kéo lệch tâm).

Cho α thay đổi sẽ có một họ biểu đồ với hai thông số β_a và R_s. Sự thay đổi của biểu đồ theo R_s là rất ít vì vậy có thể vẽ chung trên một biểu đồ với các R_s khác nhau.

Ở phụ lục 11 cho một vài họ biểu đồ như vậy. Cách dùng họ biểu đồ của tiết diện vòng khuyên cũng giống như đối với tiết diện tròn (xem mục 4.2.7.2).

4.5. TIẾT DIỆN TRÒN VÀ VÒNG KHUYÊN ĐẶC BIỆT

4.5.1. Tiết diện tròn đặc biệt

Khi cột chịu lực tương đối bé nhưng theo yêu cầu về kiến trúc hoặc về hạn chế độ mảnh mà phải chọn đường kính D tương đối lớn so với điều kiện bảo đảm độ bền thì cốt thép A_{st} tính được thường khá bé hoặc không cần thiết. Lúc này khi mà D ≤ 400mm, nếu chọn bố trí cốt thép theo yêu cầu tối thiểu thông thường là 6 ϕ 16 thì nhiều khi lượng cốt thép được dùng lớn gấp nhiều lần giá trị A_{st} tính được. Trong trường hợp này để tiết kiệm cốt thép có thể không cần tuân theo các quy định về số lượng thanh tối thiểu và đường kính ϕ với chú ý rằng quy định số thanh cốt thép không ít hơn 6 là nhằm thoả mãn giả thiết tính toán chứ không phải do yêu cầu chịu lực.

Khi tính được A_{st} quá bé hoặc âm cần chọn diện tích theo yêu cầu tối thiểu $A_{min} = \mu_{min}A$ với $\mu_{min} = 0{,}005$.

Khi mà D ≤ 400 và $A_{min} \geq 1{,}5A_{st}$ có thể bố trí 4 ϕ 16 ở 4 góc của hình vuông. Nếu $A_{st} < 0$ có thể bố trí 4 ϕ 12.

Khi mà D ≤ 250 và $A_{min} \geq 2A_{st}$ có thể bố trí 3 ϕ 16 ở 3 góc của tam giác đều. Nếu $A_{st} < 0$ có thể chỉ đặt 3 ϕ 12.

4.5.2. Tiết diện vòng khuyên đặc biệt

Khi bán kính ngoài r_2 là khá bé tiết diện có thể rơi vào trường hợp đặc biệt, không thoả mãn các yêu cầu cấu tạo thông thường: hoặc là $\delta_o > 0{,}5r_2$ hoặc là số lượng thanh cốt thép dọc ít hơn 6. Chú ý rằng các yêu cầu cấu tạo nói trên chỉ nhằm để thoả mãn các giả thiết tính toán chứ không phải do yêu cầu chịu lực. Vì vậy vẫn có thể tính toán các tiết diện đặc biệt như vừa nêu, nhưng không dùng được các giả thiết tương ứng.

Chương 5

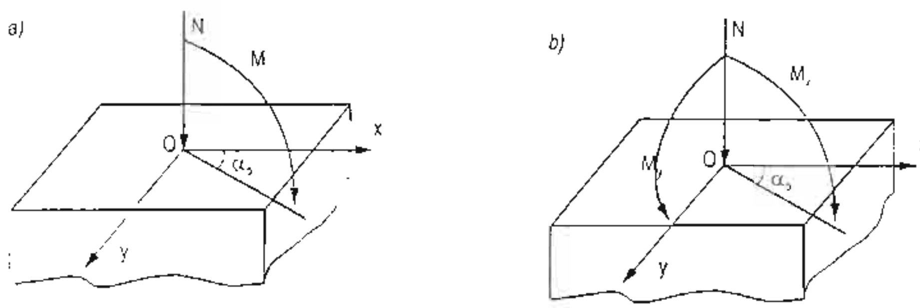
TIẾT DIỆN CHỮ NHẬT NÉN LỆCH TÂM XIÊN

5.1. ĐẠI CƯƠNG VỀ NÉN LỆCH TÂM XIÊN

Nén lệch tâm xiên xảy ra khi mặt phẳng uốn không chứa trục đối xứng của tiết diện.

Gọi hai trục đối xứng của tiết diện là ox và oy. Góc giữa mặt phẳng uốn và trục ox là α (hình 5.1a). Có thể phân mômen uốn M thành hai thành phần tác dụng trong hai mặt phẳng chứa trục ox và oy là M_x và M_y.

$$M_x = M\cos\alpha_o \,;\, M_y = M\sin\alpha_o \qquad (5\text{-}1)$$



Hình 5.1. Sơ đồ nội lực nén lệch tâm xiên

Trường hợp khi tính toán nội lực đã xác định và tổ hợp riêng M_x và M_y theo hai phương thì mômen tổng M sẽ là:

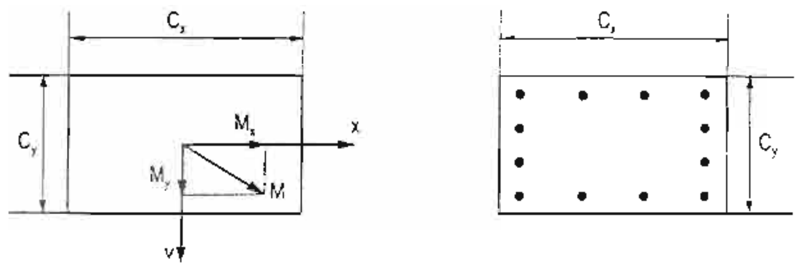
$$M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2} \qquad (5\text{-}2)$$

Góc lập bởi véctơ của mômen tổng M và trục ox là α_o mà $tg\alpha_o = \dfrac{M_y}{M_x}$.

Cột chịu nén lệch tâm xiên thường gặp trong các khung khi xét sự làm việc của cột đồng thời chịu uốn theo cả hai phương.

Tiết diện chữ nhật chịu nén lệch tâm xiên có các cạnh là c_x, c_y, cốt thép thường được đặt theo chu vi và đối xứng qua hai trục (hình 5.2). Trường hợp M_x và M_y có giá trị gần bằng nhau nên làm tiết diện vuông.

Tiết diện tròn và vòng khuyên không có trường hợp nén lệch tâm xiên.



Hình 5.2. Tiết diện chịu nén lệch tâm xiên

5.2. NỘI LỰC NÉN LỆCH TÂM XIÊN

Nội lực để tính toán nén lệch tâm xiên được lấy từ kết quả tổ hợp trong đó cần chú ý các bộ ba nội lực sau:

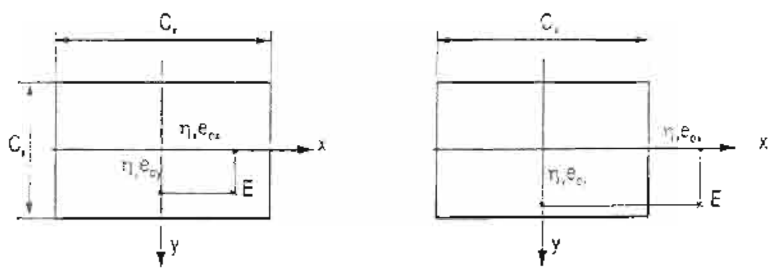
- Có N lớn nhất và M_x, M_y tương ứng;
- Có M_x lớn nhất, N, M_y tương ứng;
- Có M_y lớn nhất, N, M_x tương ứng;
- Có M_x và M_y đều lớn;
- Có độ lệch tâm $e_{1x} = \dfrac{M_x}{N}$ hoặc $e_{1y} = \dfrac{M_y}{N}$ lớn.

Trong mỗi bộ ba nội lực cần xét đến độ lệch tâm ngẫu nhiên e_a theo mỗi phương và ảnh hưởng của uốn dọc theo từng phương. Hệ số xét ảnh hưởng uốn dọc theo mỗi phương η_i được tính theo công thức (1.11) trong đó mômen quán tính J_i, chiều dài tính toán l_{oi}, lực dọc tới hạn N_{thi} được tính riêng biệt theo từng phương (i = x, y).

Sơ đồ nội lực tính toán được đưa về thành lực N đặt tại điểm E có toạ độ là $\eta_x e_{ox}$ và $\eta_y e_{oy}$ (hình 5.3). Điểm E có thể nằm bên trong hoặc bên ngoài tiết diện, ở vào góc phần tư nào là tuỳ thuộc vào chiều tác dụng của M_x và M_y.

Sau khi xét độ lệch tâm ngẫu nhiên và uốn dọc thì mômen tác dụng theo hai phương được tăng lên thành M_x^*, M_y^*.

$$M_x^* = N\eta_x e_{ox};\quad M_y^* = N\eta_y e_{oy}$$



Hình 5.3. Sơ đồ nội lực với độ lệch tâm

5.3. SỰ LÀM VIỆC NÉN LỆCH TÂM XIÊN

Với cấu kiện làm bằng vật liệu đàn hồi và đồng chất chịu nén lệch tâm xiên có thể dùng phương pháp cộng tác dụng để tính ứng suất:

$$\sigma = \frac{M_x}{J_x}x + \frac{M_y}{J_y}y \pm \frac{N}{F} \qquad (5\text{-}3)$$

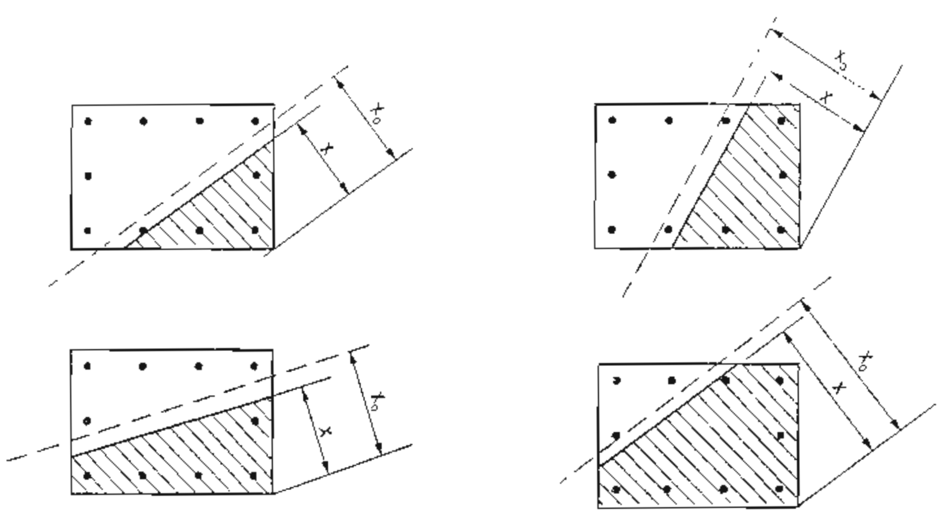
Điều kiện bền là hạn chế ứng suất σ không vượt quá ứng suất cho phép hoặc cường độ tính toán của vật liệu.

Khi tính toán cấu kiện bêtông cốt thép theo trạng thái giới hạn không thể dùng phương pháp cộng tác dụng như ở công thức (5-3) vì không thể tính riêng ứng suất do từng nội lực gây ra. Để tính toán cốt thép cũng như để kiểm tra khả năng chịu lực phải xét tác dụng đồng thời của ba nội lực N, M_x, M_y.

Khi chịu nén lệch tâm xiên, tuỳ theo vị trí điểm đặt lực cũng như tương quan giữa các nội lực với kích thước tiết diện và bố trí cốt thép mà có thể xảy ra trường hợp toàn bộ tiết diện bị nén hay một phần bị nén, một phần bị kéo.

Với tiết diện toàn bộ chịu nén, có một đỉnh chịu nén nhiều nhất (đỉnh ở gần điểm đặt lực E) còn đỉnh phía kia của đường chéo chịu nén ít hơn.

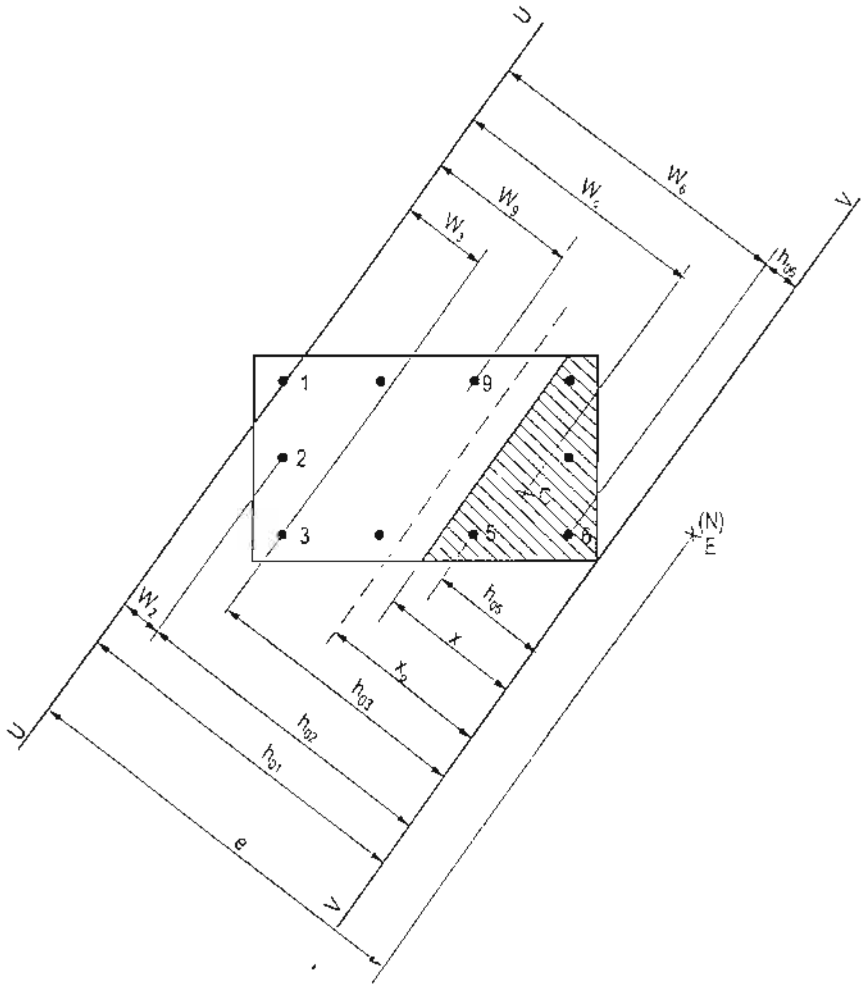
Với tiết diện có một phần chịu nén thì vùng nén có thể là một trong bốn dạng như trên hình 5.4. Lúc này, cũng giống như trường hợp nén lệch tâm phẳng, cần phân biệt trục trung hoà và giới hạn của vùng nén (xem mục 1.6.4). Trục trung hoà cách đỉnh chịu nén lớn nhất một đoạn x_o và đó là chiều cao thực của vùng nén. Giới hạn (mép) của vùng nén tính đổi cách đỉnh vừa nói một đoạn $x = \theta x_o$ ($\theta = 0,8 \div 0,85$). Trong tính toán, vùng bêtông chịu nén được lấy theo giới hạn này.



Hình 5.4. Các dạng của vùng nén

Đến trạng thái giới hạn ứng suất trong bêtông vùng nén được xem là phân bố đều và đạt giá trị R_b. Ứng suất trong những cốt thép ở xa trục trung hoà có thể đạt đến giá trị R_s, R_{sc} trong khi đó ở những cốt thép gần trục trung hoà ứng suất bé hơn.

Gọi thứ tự (hoặc đặt tên) các thanh cốt thép là i = 1,2,... n. Diện tích tiết diện mỗi thanh là a_i, ứng suất trong thanh thép là σ_i. Tuỳ theo quan điểm tính toán (xem mục 1.6.5) mà có thể xác định σ_i phụ thuộc vào biến dạng của thanh cốt thép ε_i hoặc phụ thuộc vào khoảng cách từ điểm đặt cốt thép đến giới hạn vùng nén



Hình 5.5. Sơ đồ tính toán của tiết diện

Từ tâm của cốt thép chịu kéo xa nhất và từ đỉnh chịu nén lớn nhất kẻ các trục U-U và V-V song song với mép vùng nén (tức là cũng song song với trục trung hoà).

Gọi h_{oi} - khoảng cách từ cốt thép thứ i đến trục V-V.

W_i - khoảng cách từ cốt thép thứ i đến trục U-U.

$$W_i + h_{oi} = h_{omax} \text{ (hình 5.5).}$$

Trên hình 5.5 có $h_{omax} = h_{o1}$.

Biến dạng ε_i được xác định dựa vào giả thiết tiết diện phẳng:

$$\varepsilon_i = \frac{\varepsilon_c}{x_o}(h_{oi} - x_o) \quad (5\text{-}4)$$

Giá trị σ_i được xác định theo công thức (1.25), khi $\varepsilon_i > 0$ có σ_i là ứng suất kéo, còn khi $\varepsilon_i < 0$ có σ_i là ứng suất nén.

Tiêu chuẩn thiết kế TCVN 5574-1991 đưa ra công thức thực nghiệm xác định σ_i như sau:

Với cốt thép chịu kéo:

Khi $h_{oi} \geq 0,6\,(h_{omax} - x)$ thì $\sigma_i = R_s$

$h_o < 0,6\,(h_{omax} - x)$ thì $\sigma_i = \dfrac{h_{oi}}{0,6(h_{omax} - x)} R_s$

Với cốt thép chịu nén:

Khi $h_{oi} \geq 0,6x$ thì $\sigma_i = R'_s$

$h_o < 0,6x$ thì $\sigma_i = \dfrac{h_{oi}}{0,6x} R'_s$

Tiêu chuẩn TCXDVN 356 - 2005 đưa ra các công thức sau:

$$\sigma_i = \frac{\sigma_{sc,u}}{1 - \dfrac{\omega}{1,1}}\left(\frac{\omega}{\xi_i} - 1\right) \quad (5\text{-}5)$$

Trong đó:

$\xi_i = \dfrac{x}{h_{oi}}$;

$\sigma_{sc,u}$ - ứng suất giới hạn của cốt thép vùng chịu nén. Trong trường hợp bình thường lấy $\sigma_{sc,u}$ = 400MPa (xem phụ lục 4).

$\omega = \alpha - 0,008R_b$

α - hệ số phụ thuộc loại bêtông. Với bêtông nặng thông thường lấy $\alpha = 0,85$.

Theo công thức (5-5) tính được $\sigma_i > 0$ là ứng suất kéo và ngược lại. Giá trị σ_i được hạn chế không lớn hơn cường độ tính toán của cốt thép (với $\sigma_i > 0$ nếu tính được $\sigma_i > R_s$ thì lấy $\sigma_i = R_s$, với $\sigma_i < 0$, nếu tính được $\sigma_i < -R_{sc}$ thì lấy $\sigma_i = -R_{sc}$).

5.4. CÔNG THỨC VÀ ĐIỀU KIỆN TỔNG QUÁT

Điều kiện độ bền của nén lệch tâm xiên cũng là các điều kiện (1.19) và (1.20). Tiêu chuẩn thiết kế TCXDVN 356 - 2005 quy định lấy trục chuẩn là đường thẳng U-U đi qua trọng tâm thanh cốt thép xa nhất (so với điểm đặt lực E) và song song với mép vùng nén.

Điều kiện được viết thành:

$$Ne \leq M_{gh} = R_b S_b - \sum \sigma_i S_{si} \tag{5-6}$$

$$N = N_{gh} = R_b A_b - \sum \sigma_i a_i \tag{5-7}$$

Trong đó:

e - khoảng cách từ điểm đặt lực đến trục chuẩn U-U;

S_b - mômen tĩnh của diện tích tiết diện bê tông vùng nén lấy đối với trục U-U.

$$S_b = A_b W_b$$

S_{si} - mômen tĩnh của diện tích thanh cốt thép dọc thứ i đối với trục nói trên.

$$S_{si} = a_i w_i$$

a_i - diện tích tiết diện thanh cốt thép thứ i;

w_i - khoảng cách từ trọng tâm a_i đến trục chuẩn U-U.

A_b - diện tích bêtông vùng nén;

W_b - khoảng cách từ trọng tâm A_b (điểm C) đến trục chuẩn.

Hình dạng của bêtông vùng nén được xác định từ điều kiện sau: Điểm đặt của lực dọc (điểm E), điểm đặt của hợp lực của bêtông và của cốt thép vùng nén, điểm đặt của hợp lực các cốt thép chịu kéo phải cùng nằm trên một đường thẳng. Đúng ra thì đường thẳng qua 3 điểm vừa nêu phải nằm trong mặt phẳng uốn, tuy vậy với mức độ gần đúng chấp nhận được chỉ cần ba điểm thẳng hàng. Trong tính toán thực tế để đạt được ba điểm thẳng hàng là tương đối khó, phải tính nhiều lần, vì vậy có thể chấp nhận điều kiện là ba điểm gần thẳng hàng. Lấy đường thẳng qua điểm đặt lực nén (E) và hợp lực của cốt thép chịu kéo (K) làm đường mốc, điểm đặt của bêtông và cốt thép vùng nén có thể lệch với đường mốc này với sai số cho phép $\frac{1}{20}h_{o\max}$.

Điểm đặt của lực N và của các hợp lực nói trên được xác định bằng toạ độ của chúng.

Lấy hai trục ox và oy. Toạ độ của điểm đặt lực đã được xác định bằng hai độ lệch tâm e_{ox}, e_{oy} hoặc khi kể đến uốn dọc là $\eta_x e_{ox}$, $\eta_y e_{oy}$ (hình 5.3).

Gọi toạ độ của các thanh cốt thép là x_i, y_i và hợp lực của cốt thép vùng kéo đặt tại điểm K có toạ độ x_K, y_K, hợp lực của các cốt thép vùng nén đặt tại điểm G có toạ độ x_G, y_G (hình 5.6) thì:

$$x_K = \frac{\sum a_i \sigma_i x_i}{\sum a_i \sigma_i} \;;\; y_K = \frac{\sum a_i \sigma_i y_i}{\sum a_i \sigma_i}$$

Tính x_K, y_K khi lấy tổng các cốt thép chịu kéo. Tương tự tính x_G, y_G khi lấy tổng các cốt thép chịu nén.

Điểm đặt hợp lực bêtông vùng nén là C có toạ độ x_C, y_C. Xác định x_C, y_C phụ thuộc vào hình dạng vùng nén là tam giác, hình thang hoặc ngũ giác (hình 5.4) với dạng vùng nén là hình thang với các cạnh đáy t_1, t_2, chiều cao C_y như trên hình 5.6 thì:

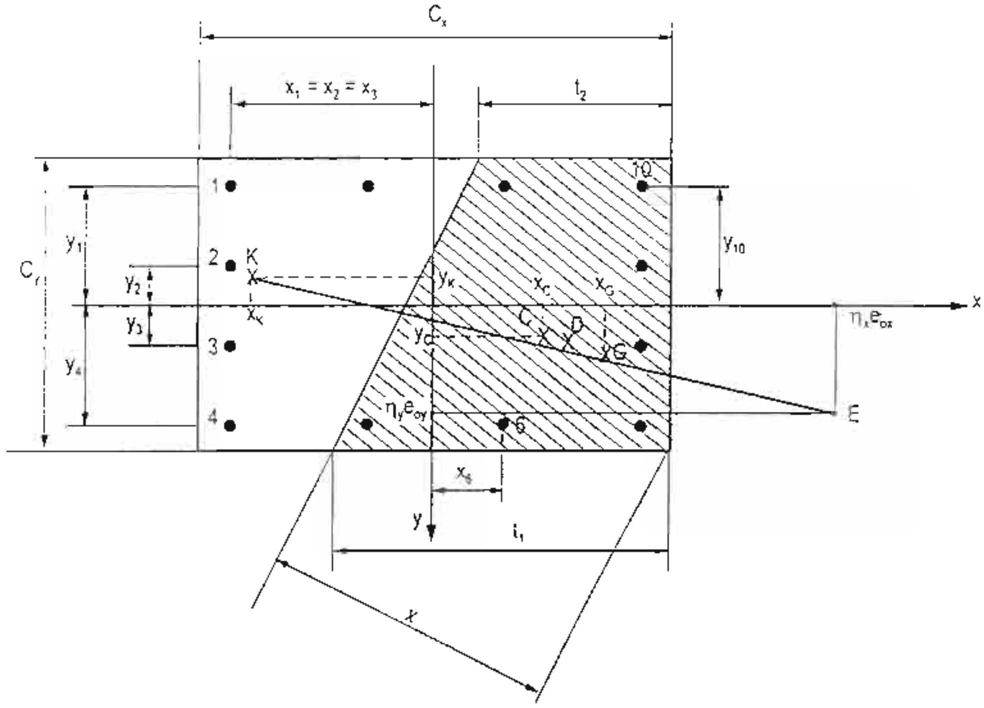
$$A_b = 0{,}5\,(t_1 + t_2)\,C_y$$

$$y_c = \frac{\frac{1}{12}(t_1 - t_2)C_y^2}{A_b} = \frac{(t_1 - t_2)C_y}{6(t_1 + t_2)}$$

$$x_C = 0{,}5C_x - \frac{t_1^2 + t_2^2 + t_1 t_2}{3(t_1 + t_2)}$$

Với các dạng khác của vùng nén cũng theo nguyên tắc thông thường để tìm toạ độ trọng tâm x_C, y_C.

Hợp lực của bêtông và của cốt thép vùng nén đặt tai điểm D, nằm vào khoảng giữa điểm C và G.



Hình 5.6. Sơ đồ xác định điểm đặt hợp lực

$$x_D = \frac{R_b A_n x_c + \sum \sigma_i a_i x_i}{R_b A_n + \sum \sigma_i a_i}$$

$$y_D = \frac{R_b A_n y_c + \sum \sigma_i a_i x_i}{R_b A_n + \sum \sigma_i a_i}$$

Lấy tổng các cốt thép trong vùng nén. Trong công thức tính x_D, y_D các ứng suất σ_i lấy theo giá trị tuyệt đối (hoặc xem ứng suất nén là dương để phù hợp với việc lấy R_b dương). Nếu lấy σ_i nén là âm thì R_b cũng lấy giá trị âm.

Đường thẳng KE đi qua điểm đặt hợp lực cốt thép vùng kéo và điểm đặt lực nén có phương trình:

$$y = ax + b$$

$$a = \frac{\eta_y e_{oy} - y_K}{\eta_x e_{ox} - x_K}\ ; b = y_K - ax_K = \eta_y e_{oy} - a\eta_x e_{ox}$$

Khi ba điểm K, D, E thẳng hàng thì toạ độ x_D, y_D phải nghiệm đúng phương trình đường thẳng. Nếu điểm D ở ngoài đường thẳng thì độ lệch Δ bằng:

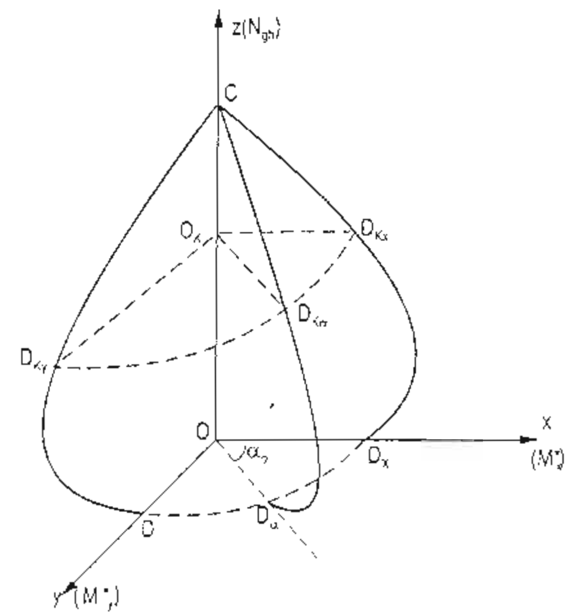
$$\Delta = \frac{y_D - (ax_D + b)}{\sqrt{a^2 + 1}}$$

Mức độ cho phép của độ lệch là $\Delta \le \frac{1}{20} h_{o\max}$

Trường hợp toàn bộ tiết diện chịu nén thì điểm đặt của hợp lực bêtông và cốt thép phải trùng với điểm đặt của lực nén (điểm D trùng với điểm E).

5.5. MẶT BIỂU ĐỒ TƯƠNG TÁC

Với nén lệch tâm xiên khả năng chịu lực được biểu diễn thành mặt biểu đồ tương tác. Đó là một mặt cong thể hiện theo ba trục oxyz. Trục đứng oz thể hiện giá trị lực nén N_{gh}. Các trục ngang ox và oy thể hiện mômen $M_x^* = N\eta e_{ox}$; $M_y^* = N\eta e_{oy}$. Mỗi điểm trên mặt biểu đồ được xác định bởi ba toạ độ x, y, z thể hiện các nội lực tương ứng (hình 5.7). Kí hiệu C, D_x, D_y là giao điểm các trục với mặt biểu đồ. Đường nét gạch O_K D_{Kx} D_{Ky} là giao tuyến của một mặt phẳng ngang (song song với mặt xoy) với mặt phẳng toạ độ và mặt của biểu đồ. Đường cong $CD_{K\alpha}D_\alpha$ là giao tuyến của mặt phẳng đứng chứa trục oz với mặt biểu đồ.



Hình 5.7. Mặt biểu đồ tương tác

5.5.1. Xác định toạ độ của mặt biểu đồ

Xét một tiết diện với kích thước và bố trí cốt thép đã biết. Yêu cầu tính toán xác định toạ độ các điểm của mặt biểu đồ tương tác.

Để đơn giản hoá vấn đề mà vẫn đủ mức độ khái quát chúng ta chỉ xét ở phạm vi góc một phần tư, với một đỉnh tiết diện chịu nén lớn nhất.

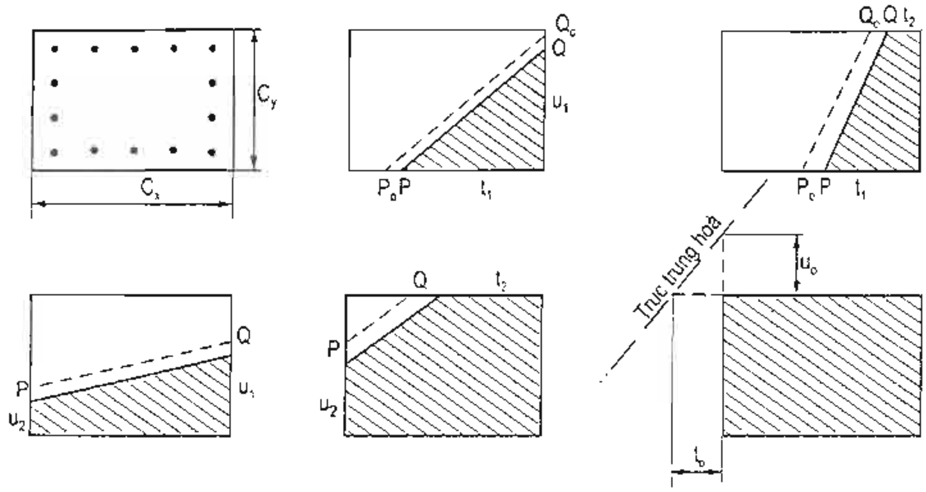
Để tính toán, dùng biến số độc lập là hình dạng và kích thước vùng bêtông chịu nén. Về hình dạng có 5 trường hợp: 4 trường hợp như trên hình 5.4 và trường hợp toàn bộ tiết diện chịu nén, trục trung hoà nằm ngoài tiết diện. Mỗi một trường hợp trong 5 trường hợp đều có thể biểu diễn vùng nén bằng hai biến số: t_1, t_2; u_1, u_2 hoặc t_1, u_1; t_2, u_2. Trong đó t là kích thước trên cạnh C_x (theo phương trục ox), u là kích thước trên cạnh C_y. Chỉ số 1 gắn với cạnh kề sát đỉnh chịu nén lớn nhất (hình 5.8). Kí hiệu giới hạn vùng nén bằng đoạn PQ và trục trung hoà là P_oQ_o. Ứng với mỗi vùng nén cho trước (cho trước điểm P và Q hoặc cho trước giá trị t, u) sẽ tính toán được diện tích vùng nén A_c, ứng suất trong từng thanh cốt thép σ_i. Từ đó xác định được điểm đặt hợp lực bêtông và cốt thép vùng nén D, điểm đặt hợp lực cốt thép chịu kéo K. Cũng xác định được trục chuẩn U-U và tính các giá trị W_c, W_t.

Tính giá trị N_{gh} theo công thức (5-7).

Tính giá trị M_x^* và M_y^* bằng cách lấy mômen đối với trục oy và ox của các hợp lực trong bê tông và trong cốt thép.

$$M_x^* = R_bA_bx_c - \sum\sigma_ia_ix_i$$

$$M_y^* = R_bA_by_c - \sum\sigma_ia_iy_i$$



Hình 5.8. Dạng và kích thước vùng nén

Cũng có thể tính M_x^* và M_y^* theo một cách khác như sau: Theo công thức (5-6) tính được M_{gh}. Tính độ lệch tâm $e = \dfrac{M_{gh}}{N_{gh}}$.

Nối điểm K với điểm D và kéo dài. Điểm đặt lực E nằm trên đường thẳng KD và cách trục chuẩn U-U một khoảng bằng e. Xác định được vị trí điểm E sẽ có toạ độ của nó là $\eta_x e_{ox}$ và $\eta_y e_{oy}$. Từ đó tính được M_x^* và M_y^* ta có được 3 toạ độ cần tìm.

Ứng với mỗi vị trí của PQ có được một điểm. Cho P, Q thay đổi (cũng như cho t, u thay đổi) sẽ tìm được mọi điểm của mặt biểu đồ. Chú ý rằng với mỗi vị trí P có nhiều vị trí tương ứng của Q. Trong sơ đồ tính toán với t_1 và t_2 phải thoả mãn $t_2 \le t_1$. Trong sơ đồ tính với u_1 và u_2 thì $u_2 \le u_1$.

Việc tính và vẽ mặt biểu đồ tương tác mang nặng tính chất lí thuyết, thực tế còn ít được sử dụng vì việc tính toán quá phức tạp. Có thể lập chương trình máy tính để giảm nhẹ công việc tính toán.

5.5.2. Các hình cắt của mặt biểu đồ

5.5.2.1. Cắt bằng mặt phẳng đứng

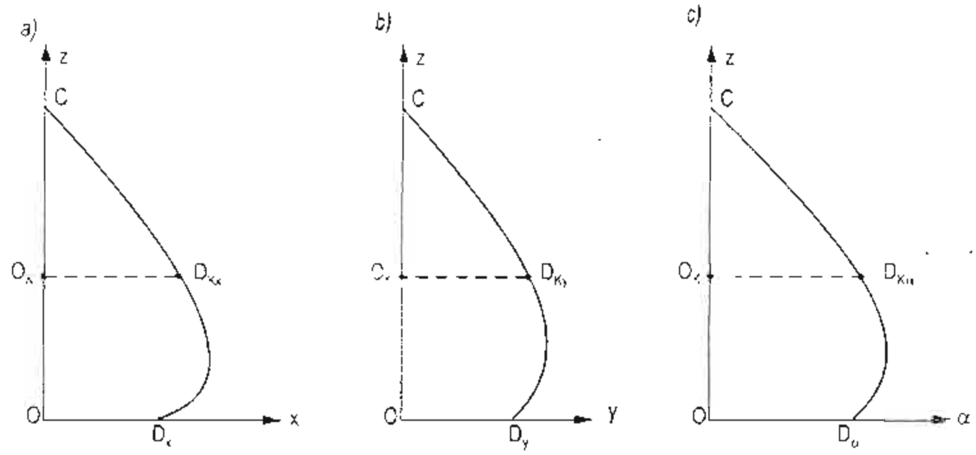
Cắt mặt biểu đồ bằng mặt phẳng đứng xoz sẽ có được đường cong CD_x. Đó là biểu đồ tương tác ứng với hai nội lực N và M_x còn $M_y = 0$ (hình 5.8a*).

Cắt bằng mặt phẳng yoz có đường cong CD_y là biểu đồ theo N và M_y còn $M_x = 0$ (hình 5.8*b).

Các đường CD_x và CD_y là biểu đồ tương tác của nén lệch tâm phẳng theo hai phương ox và oy.

Cắt bằng mặt phẳng αoz lập với mặt phẳng xoz một góc α_o, có đường cong CD_α, đó là biểu đồ tương tác của nén lệch tâm xiên ứng với N và mômen $M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}$ với

$M_x = M\cos\alpha$, $M_y = M\sin\alpha_o$; $tg\alpha_o = \dfrac{M_y}{M_x}$



Hình 5.8: Biểu đồ tương tác của nén lệch tâm phẳng và xiên*

5.5.2.2. Cắt bằng mặt phẳng ngang

Dùng mặt phẳng ngang song song với mặt xoy làm mặt cắt. Mặt phẳng này cắt trục oz tại điểm O_K ứng với giá trị N_K. Giao tuyến của mặt cắt và mặt biểu đồ là đường cong $D_{Kx}\ D_{Ky}$ (hình 5.9a). Đó là biểu đồ tương tác của nén lệch tâm xiên ứng với lực nén N_K hằng số.

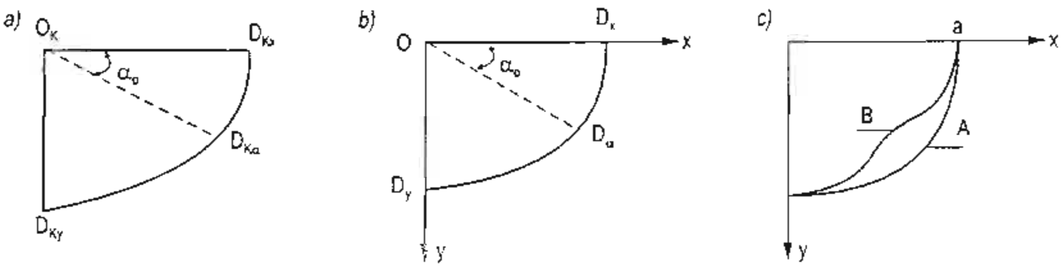
Đường cong D_xD_y trên mặt phẳng xoy là trường hợp đặc biệt ứng với N = 0, đó là biểu đồ tương tác của trường hợp uốn xiên (hình 5.9b).

Đường cong $D_{Kx}\ D_{Ky}$ có dạng gần giống với đường cong D_xD_y với mức độ rộng hẹp có khác nhau tuỳ thuộc vào giá trị N_K. Hình dạng của các đường cong vừa nói phụ thuộc vào cách thức bố trí cốt thép trên tiết diện. Với tiết diện có cốt thép đặt đều theo chu vi và đối xứng qua hai trục, đường cong thường có dạng lồi (đường A hình 5.9c) với phương trình:

$$\left(\frac{x}{p_x}\right)^n + \left(\frac{y}{q_y}\right)^n = 1$$

$$p_x = O_KD_{Kx}\ ;\ q_y = O_KD_{Ky};$$

Khi xem đường cong là enlip thì n = 2, còn xem là đường thẳng thì n = 1.



Hình 5.9. Cắt mặt biểu đồ bằng mặt phẳng ngang

Về bản chất $p_x = M^*_{ox}$; $q_y = M^*_{oy}$ là khả năng chịu mômen ứng với trường hợp nén lệch tâm phẳng và $x = M^*_x$; $y = M^*_y$ là khả năng chịu mômen của trường hợp nén lệch tâm xiên thì:

$$\left(\frac{M^*_x}{M^*_{ox}}\right)^n + \left(\frac{M^*_y}{M^*_{oy}}\right)^n = 1 \tag{5-8}$$

Trong tính toán thực hành lấy n phụ thuộc vào giá trị tương đối của N.

Trường hợp đặt cốt thép không đều, tập trung nhiều vào giữa các cạnh mà đặt ít hơn ở các góc thì đường cong có thể có phần lõm như đường B ở hình 5.9c. Trong thiết kế thực tế nên tránh trường hợp như thế này vì bất lợi cho sự làm việc chịu nén lệch tâm xiên. Đặt cốt thép nhiều hơn ở các góc thì độ lồi cua đường cong sẽ lớn hơn, hiệu quả sử dụng vật liệu sẽ cao hơn.

Để có được biểu đồ như trên hình 5.8* và 5.9 không nhất thiết phải cắt ra từ mặt biểu đồ ở hình 5.7 mà hoàn toàn có thể vẽ riêng. Để vẽ biểu đồ hình 5.8*a và 5.8*b cần tính toán theo trường hợp nén lệch tâm phẳng đã trình bày trong chương 2 (mục 2.5 và 2.7.4). Biểu đồ ở hình 5.9b là trường hợp uốn xiên. các giá trị ứng với D_x và D_y được xác định theo trường hợp uốn phẳng theo hai phương, cần tìm thêm một số giá trị D_α thì sẽ vẽ được biểu đồ.

Ở biểu đồ hình 5.9a các điểm D_{Kx} và D_{Ky} được xác định từ biểu đồ 5.8*a và 5.8*b khi đã có điểm O_K (biết lực nén N_K). Điểm $D_{K\alpha}$ có thể được nội suy khi chấp nhận giả thiết đường cong $D_{Kx}\,D_{Ky}$ có cùng dạng với đường D_xD_y. Suy ra:

$$O_K D_{K\alpha} = \frac{O_K D_{Kx}\left(\frac{\pi}{2} - \alpha_o\right) + O_K D_{Ky}\,\alpha_o}{OD_x\left(\frac{\pi}{2} - \alpha_o\right) + OD_y\,\alpha_o} \,.\, OD_\alpha$$

Khi đã có được đoạn $O_K D_{K\alpha}$ ứng với giá trị N_K (điểm O_K) thì sẽ suy ra được biểu đồ ở hình 5.8*c.

5.6. PHƯƠNG PHÁP GẦN ĐÚNG TÍNH CỐT THÉP

5.6.1. Tính toán tiết diện chữ nhật

Phương pháp gần đúng dựa trên việc biến đổi trường hợp nén lệch tâm xiên thành nén lệch tâm phẳng tương đương để tính cốt thép. Nguyên tắc của phương pháp này được trình bày trong tiêu chuẩn của nước Anh BS8110 và của Mỹ ACI 318, tác giả đã dựa vào nguyên tắc đó để lập ra các công thức và điều kiện tính toán phù hợp với tiêu chuẩn Việt Nam TCXDVN 356 - 2005.

Xét tiết diện có cạnh C_x, C_y. Điều kiện để áp dụng phương pháp gần đúng là: $0{,}5 \le \dfrac{C_x}{C_y} \le 2$, cốt thép được đặt theo chu vi, phân bố đều hoặc mật độ cốt thép trên cạnh b có thể lớn hơn (cạnh b được giải thích ở bảng về mô hình tính).

Tiết diện chịu lực nén N, mômen uốn M_x, M_y, độ lệch tâm ngẫu nhiên e_{ax}, e_{ay}. Sau khi xét uốn dọc theo hai phương, tính được hệ số η_x, η_y. Mômen đã gia tăng M_{x1}; M_{y1}.

$$M_{x1} = \eta_x M_x;\ M_{y1} = \eta_y M_y \tag{5-9}$$

Tuỳ theo tương quan giữa giá trị M_{x1}, M_{y1} với kích thước các cạnh mà đưa về một trong hai mô hình tính toán (theo phương x hoặc y). Điều kiện và kí hiệu theo bảng sau:

Mô hình	Theo phương x	Theo phương y
Điều kiện	$\dfrac{M_{x1}}{C_x} > \dfrac{M_{y1}}{C_y}$	$\dfrac{M_{y1}}{C_y} > \dfrac{M_{x1}}{C_x}$
Kí hiệu	$h = C_x$; $b = C_y$ $M_1 = M_{x1}$; $M_2 = M_{y1}$ $e_a = e_{ax} + 0{,}2e_{ay}$	$h = C_y$; $b = C_x$ $M_1 = M_{y1}$; $M_2 = M_{x1}$ $e_a = e_{ay} + 0{,}2e_{ax}$

Giả thiết chiều dày lớp đệm a, tính $h_o = h - a$; $Z = h - 2a$ chuẩn bị các số liệu R_b, R_s, R_{sc}, ξ_R như đối với trường hợp nén lệch tâm phẳng.

Tiến hành tính toán theo trường hợp đặt cốt thép đối xứng:

$$x_1 = \frac{N}{R_b b} \tag{5-10}$$

Hệ số chuyển đổi m_o.

Khi $x_1 \le h_o$ thì $m_o = 1 - \dfrac{0{,}6x_1}{h_o}$

$x_1 > h_o$ thì $m_o = 0{,}4$.

Tính mômen tương đương (đổi nén lệch tâm xiên ra nén lệch tâm phẳng).

$$M = M_1 + m_o M_2 \frac{h}{b} \tag{5-11}$$

Độ lệch tâm $e_1 = \frac{M}{N}$; Với kết cấu tĩnh định: $e_o = e_1 + e_a$

$$e = e_o + \frac{h}{2} - a \tag{5-12}$$

Tính toán độ mảnh theo hai phương $\lambda_x = \frac{l_{ox}}{i_x}$; λ_y .

$$\lambda = \max(\lambda_x; \lambda_y)$$

Dựa vào độ lệch tâm e_o và giá trị x_1 để phân biệt các trường hợp tính toán.

a) Trường hợp 1. Nén lệch tâm rất bé khi $\varepsilon = \frac{e_o}{h_o} \le 0,30$ tính toán gần như nén đúng tâm.

Hệ số ảnh hưởng độ lệch tâm γ_e:

$$\gamma_e = \frac{1}{(0,5 - \varepsilon)(2 + \varepsilon)} \tag{5-12}$$

Hệ số uốn dọc phụ thêm khi xét nén đúng tâm:

$$\varphi_e = \varphi + \frac{(1 - \varphi)\varepsilon}{0,3} \tag{5-13}$$

Khi $\lambda \le 14$ lấy $\varphi = 1$; khi $14 < \lambda < 104$ lấy φ theo công thức (1.7) viết lại dưới đây:

$$\varphi = 1,028 - 0,0000288\lambda^2 - 0,0016\lambda$$

Diện tích toàn bộ cốt thép dọc A_{st}:

$$A_{st} \ge \frac{\frac{\gamma_e N}{\varphi_e} - R_b bh}{R_{sc} - R_b} \tag{5-14}$$

Cốt thép được chọn đặt đều theo chu vi (mật độ cốt thép trên cạnh b có thể lớn hơn - xem mục 2.7.1).

b) Trường hợp 2. Khi $\varepsilon = \frac{e_o}{h_o} > 0,30$ đồng thời $x_1 > \xi_R h_o$. Tính toán theo trường hợp nén lệch tâm bé. Xác định chiều cao vùng nén x theo các chỉ dẫn của mục 2.2.3.2. Với mức độ gần đúng, có thể tính x theo công thức (2-10) được viết lại sau đây:

$$x = \left(\xi_R + \frac{1 - \xi_R}{1 + 50\varepsilon_o^2} \right) h_o$$

$$\varepsilon_o = \frac{e_o}{h}$$

Diện tích toàn bộ cốt thép A_{st} tính theo công thức (5-15):

$$A_{st} = \frac{Ne - R_b bx(h_o - x/2)}{kR_{sc}Z} \tag{5-15}$$

Công thức (5-15) là viết lại công thức (2-17) trong đó (2-17) chỉ tính cốt thép A'_s đặt ở một phía còn (5-15) tính toán cốt thép toàn bộ. Hệ số $k < 0,5$ là để xét đến vấn đề vừa nêu. Quy định lấy $k = 0,4$.

c) Trường hợp 3. Khi $\varepsilon = \frac{e_o}{h_c} > 0,30$ đồng thời $x_1 \le \xi_R h_o$. Tính toán theo trường hợp nén lệch tâm lớn. Tính A_{st} theo công thức (5-16) suy ra từ công thức (2-14) với hệ số $k = 0,4$.

$$A_{st} = \frac{N(e + 0,5x_1 - h_o)}{kR_s Z} \tag{5-16}$$

Cốt thép được đặt theo chu vi trong đó cốt thép đặt theo cạnh b có mật độ lớn hơn hoặc bằng mật độ theo cạnh h.

5.6.2. Tính toán tiết diện vuông

Tiết diện vuông chịu nén lệch tâm xiên có thể được tính toán như đối với tiết diện chữ nhật đã trình bày trong mục 5.6.1.

Riêng với tiết diện vuông có cốt thép đặt đều theo chu vi với số lượng từ 12 thanh trở lên (12; 16; 20...) có thể được tính toán gần đúng bằng cách quy về tiết diện tròn có đường kính D = 1,05 C_x. Tính với lực nén N và mômen tổng $M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}$. Tính toán theo tiết diện tròn cốt thép A_{st}, chọn và bố trí cốt thép cho tiết diện vuông.

5.6.3. Đánh giá và xử lí kết quả

Giá trị A_{st} tính được theo các công thức đã lập có thể là dương, âm, lớn hoặc bé. Đánh giá mức độ hợp lí bằng tỉ lệ cốt thép $\mu_s = \frac{A_{st}}{A}$ với $A = C_x C_y = bh$.

Tuỳ theo kết quả tính được mà có cách đánh giá và xử lí như đối với trường hợp nén lệch tâm phẳng.

5.6.4. Thí dụ tính toán

Thí dụ 1. Cho tiết diện chữ nhật có các cạnh $C_x = 60cm$, $C_y = 40cm$; chiều dài tính toán $l_{ox} = l_{oy} = 4m$. Lực nén tính toán N = 1200kN; $M_x = 300$ kNm; độ lệch tâm ngẫu nhiên $e_{ax} = 3cm$; $M_y = 150$ kNm; $e_{ay} = 2cm$. Bê tông có $R_b = 13$ MPa; $E_b = 29000$ MPa. Yêu cầu tính toán cốt thép bằng thép có $R_s = R_{sc} = 260MPa$.

Chuẩn bị số liệu: $\xi_R = 0{,}60$.

$$\lambda_x = \frac{l_{ox}}{i_x} = \frac{400}{0{,}288\times 60} = 23{,}15$$

$$\lambda_y = \frac{l_{oy}}{i_y} = \frac{400}{0{,}288\times 40} = 34{,}7$$

$$\lambda = \max(\lambda_x, \lambda_y) = 34{,}7$$

Xét uốn dọc: $\lambda_x = 23{,}15 < 28$ lấy $\eta_x = 1$.

$\lambda_y = 34{,}7 > 28$ cần tính η_y.

$$J_y = \frac{60\times 40^3}{12} = 320000cm^4 = 32\times 10^8 mm^4$$

$$N_{th} = \frac{2{,}5E_bJ}{l_o^2} = \frac{2{,}5\times 29000\times 32\times 10^8}{4000^2} = 195\times 10^5 \text{ Niuton}$$

$$N_{th} = 19500 \text{ kN}$$

$$\eta_y = \frac{1}{1-\frac{N}{N_{th}}} = \frac{1}{1-\frac{1200}{19500}} = 1{,}065$$

$$M_{x1} = \eta M_x = 300 \;;\; M_{y1} = \eta M_y = 1{,}065\times 150 = 159{,}8$$

$$\frac{M_{x1}}{C_x} = \frac{300}{0{,}6} = 500kN$$

$$\frac{M_{y1}}{C_y} = \frac{159{,}8}{0{,}4} = 399$$

Có trường hợp $\frac{M_{x1}}{C_x} > \frac{M_{y1}}{C_y}$. Tính theo phương x.

$$h = C_x = 600mm;\; b = C_y = 400mm$$

Giả thiết a = 50mm; $h_o = 550$; Z = 500mm.

$$M_1 = M_{x1} = 300kNm;\ M_2 = M_{y1} = 159,8$$

Độ lệch tâm ngẫu nhiên $e_a = e_{ax} + 0,2e_{ay} = 30 + 0,2 \times 20 = 34mm$.

$$x_1 = \frac{N}{R_b b} = \frac{1200 \times 1000}{13 \times 400} = 231mm < h_o = 550$$

$$m_o = 1 - \frac{0,6x}{h_o} = 1 - \frac{0,6 \times 231}{550} = 0.784$$

$$M = M_1 + m_o M_2 \frac{h}{b} = 300 + 0,784 \times 159,8 \times \frac{600}{400} = 483,2$$

$$e_1 = \frac{M}{N} = \frac{483,2}{1200} = 0,403m = 403mm$$

Với kết cấu tĩnh định:

$$e_o = e_1 + e_a = 403 + 34 = 437\ mm$$

$$\varepsilon = \frac{e_o}{h_o} = \frac{437}{550} = 0,785 > 0,3$$

$$\xi_R h_o = 0,6 \times 550 = 330mm$$

$x_1 = 231 < \xi_R h_o$. Tính theo trường hợp lệch tâm lớn:

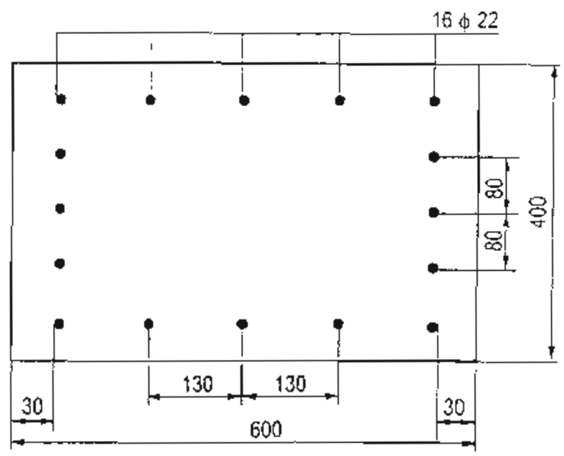
$$e = e_o + \frac{h}{2} - a = 437 + \frac{600}{2} - 50 = 687mm$$

$$A_{st} = \frac{N(e + 0,5x_1 - h_o)}{0,4R_s Z}$$

$$\frac{1200 \times 1000(687 + 116 - 550)}{0,4 \times 260 \times 500} = 5838mm^2$$

Tỉ lệ cốt thép $\mu_s = \frac{5838}{600 \times 400} = 0,0243 = 2,43\%$.

Chọn dùng 16 ϕ 22 = 16 × 380 = 6080 mm^2.



Hình 5.10. Tiết diện cột của thí dụ 1

Kiểm tra: Chọn lớp bảo vệ $c_o = 30mm$; $a = C_o + \frac{\phi}{2} = 30 + \frac{22}{2} = 41$

$h_o = 600 - 41 = 559mm > 550$ đã dùng để tính toán.

Thí dụ 2: Với kích thước và vật liệu như ở thí dụ 1, yêu cầu tính cốt thép để chịu bộ ba nội lực gồm $N = 2300kN$; $M_x = 142$ kNm; $M_y = 120$ kNm.

Cột thuộc kết cấu siêu tĩnh.

Số liệu: $C_x = 600$; $C_y = 400mm$; $l_{ox} = l_{oy} = 4000$;

$R_b = 13$; $E_b = 29000$, $R_s = R'_s = 260$ MPa; $\xi_R = 0,60$.

$\lambda_x = 23,15$; $\lambda_y = 34,7$; $\lambda = 34,7$.

Xét uốn dọc: $\eta_x = 1$; $N_{thy} = 19500$ kN.

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{2300}{19500}} = 1,13$$

$M_{x1} = 142$; $M_{y1} = 1,13 \times 120 = 135,6$ kNm.

$$\frac{M_{x1}}{C_x} = \frac{142}{0,6} = 237 < \frac{M_{y1}}{C_y} = \frac{135,6}{0,4} = 339kN$$

Tính theo phương y.

$h = C_y = 400mm$; $b = C_x = 600mm$.

Giả thiết $a = 45mm$; $h_o = 400 - 45 = 355mm$; $Z = 310$.

$M_1 = M_{y1} = 135,6$; $M_2 = M_x = 142$.

$$x_1 = \frac{N}{R_b b} = \frac{2300 \times 1000}{13 \times 600} = 295mm < h_o = 355$$

$$m_o = 1 - 0,6\frac{x}{h_o} = 1 - \frac{0,6 \times 295}{355} = 0,50$$

$$M = M_1 + m_o M_2 \frac{h'}{b} = 135,6 + 0,5 \times 142 \times \frac{400}{600} = 183kNm$$

$$e_1 = \frac{183}{2300} = 0,080m = 80mm;$$

Kết cấu siêu tĩnh: $e_o = \max(e_1, e_a) = 80mm$

$$\varepsilon = \frac{e_o}{h_o} = \frac{80}{355} = 0,225 < 0,3.$$

Tính toán theo trường hợp nén lệch tâm rất bé:

$$\gamma_e = \frac{1}{(0,5-\varepsilon)(2+\varepsilon)} = \frac{1}{(0,5-0,225)(2+0,225)} = 1,634$$

$$\varphi = 1.028 - 0,0000288\lambda^2 - 0,0016\,\lambda$$

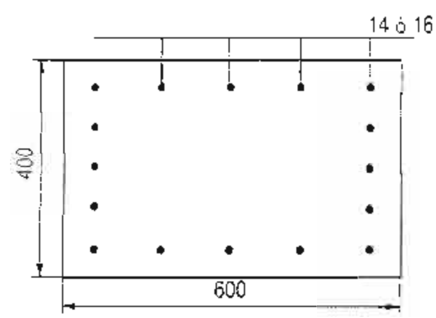
$$= 1.028 - 0,0000288 \times 34,7^2 - 0,0016 \times 34,7 = 0.938$$

$$\varphi_e = \varphi + \frac{(1-\varphi)\varepsilon}{0,3} = 0.938 + \frac{(1-0,938)0,225}{0,3} = 0,984$$

$$A_{st} = \frac{\dfrac{\gamma_e N}{\varphi_e} - R_b bh}{R_s - R_b} = \frac{\dfrac{1.634 \times 2300 \times 1000}{0,984} - 13 \times 600 \times 400}{260 - 13}$$

$$A_s = 2811\ \text{mm}^2.\ \mu_s = \frac{2811}{600 \times 400} = 0,0118 = 1,18\%$$

Bố trí 14ϕ16, có A_{st} = 2814 mm^2



Hình 5.11. Tiết diện cột của thí dụ 2

Thí dụ 3: Cho $C_x = 800$; $C_y = 600$; $l_{ox} = l_{oy} = 3600$mm; $R_b = 9$; $R_{st} = R'_s = 340$ MPa; N = 2700 kN, $M_x = 560$; $M_y = 330$ kNm. Yêu cầu tính cốt thép.

Số liệu: $\xi_R = 0,56$.

$$\lambda_x = \frac{3600}{0.288 \times 800} = 15,6 < 28\text{, bỏ qua ảnh hưởng uốn dọc}$$

$$\lambda_y = \frac{3600}{0,288 \times 600} = 20,8 < 28\text{, bỏ qua uốn dọc, } \eta = 1.$$

$$M_{x1} = M_x = 560;\ \frac{M_{x1}}{C_x} = \frac{560}{0,8} = 700$$

$$M_{y1} = M_y = 330;\ \frac{M_{y1}}{C_y} = \frac{330}{0,6} = 550$$

Có $\dfrac{M_{x1}}{C_x} > \dfrac{M_{y1}}{C_y}$. Tính theo phương x.

$h = C_x = 800$; $b = C_y = 600$; Giả thiết $a = 40$.

$h_o = 760$; $Z = 720mm$; $\xi_R h_o = 0,56 \times 760 = 426$ mm

$M_1 = M_{x1} = 560$; $M_2 = M_{y1} = 330$

$$x = \frac{N}{R_b b} = \frac{2700 \times 1000}{9 \times 600} = 500mm < h_o = 760$$

$$m_o = 1 - 0,6 \times \frac{500}{760} = 0,605$$

$$M = 560 + 0.605 \times 300 \times \frac{800}{600} = 794,5kNm$$

$$e_1 = \frac{794.5}{2700} = 0,295m = 295mm$$

Kết cấu siêu tĩnh : $e_o = \max(e_1, e_a)$. $e_o = 295mm$.

$$\varepsilon = \frac{e_o}{h_o} = \frac{295}{760} = 0,388 > 0.3.$$

Đồng thời $x_1 = 500 > \xi_R h_o = 426$.

Tính toán theo trường hợp nén lệch tâm bé:

$$x = \left[\xi_R + \frac{(1-\xi_R)}{1+50\varepsilon_o^2}\right] h_o \quad \text{với } \varepsilon_o = \frac{e_o}{h} = \frac{295}{800} = 0,37$$

$$x = \left(0,56 + \frac{0,44}{1+50 \times 0.37^2}\right) 760 = 486mm$$

$$A_{st} = \frac{Ne - R_b bx(h_o - x/2)}{kR_{sc}Z}$$

$$e = e_o + \frac{h}{2} - a = 295 + 400 - 40 = 655mm$$

$$A_{st} = \frac{2700 \times 1000 \times 655 - 9 \times 600 \times 468(760 - 234)}{0,4 \times 340 \times 720} = 4485mm^2$$

Thí dụ 4. Tiết diện vuông cạnh $C_x = C_y = 500mm$; $l_{ox} = l_{oy} = 3200$.

Bê tông có $R_b = 16.5$, cốt thép có $R_s = R_{sc} = 400MPa$. Lực nén tính toán N = 1600 kN, $M_x = 400kNm$; $M_y = 200$ kNm.

Bỏ qua độ lệch tâm ngẫu nhiên.

Yêu cầu tính cốt thép.

Số liệu: $R_b = 16.5$; $R_s = R_{sc} = 400MPa$; $\xi_R = 0,53$.

$$\lambda = \frac{3200}{0,288 \times 500} = 22,2 < 28$$ - Bỏ qua uốn dọc, η = 1.

Giả thiết a = 50, $h_o = 450$; Z = 400mm; b = 500.

$$\xi_R h_o = 0,53 \times 450 = 238mm$$

$$x_1 = \frac{N}{R_b b} = \frac{1600 \times 1000}{16,5 \times 500} = 194mm < \xi_R h_o$$

$$m_o = 1 - 0,6 \times \frac{194}{450} = 0,741$$

$$M = 400 + 0,741 \times 200 = 548,2 \text{ kNm.}$$

$$e_1 = \frac{548,2}{1600} = 0,343m = 343mm; e_o = 343$$

$$e = e_o + \frac{h}{2} - a = 343 + 250 - 50 = 543mm$$

$\varepsilon = \frac{e_o}{h_o} = \frac{343}{450} = 0,762 > 0,3$. Đồng thời $x_1 < \xi_R h_o$, tính toán theo nén lệch tâm lớn.

$$A_{st} = \frac{Ne + \frac{x_1}{2} - h_o}{0,4R_{st}Z} = \frac{1600 \times 1000(543 + 97 - 450)}{0,4 \times 400 \times 400} = 4750mm^2$$

Tiếp theo, thử dùng phương pháp quy đổi thành tiết diện tròn tương đương để tính toán:

$$D = 1,05 \times 500 = 525 \text{ mm}$$

$$a = 50; r = 0,5D = 262; r_a = r - a = 212mm$$

$$\beta_a = \frac{r_a}{r} = \frac{212}{262} = 0,809$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 \times 525^2}{4} = 216500mm^2$$

$$n = \frac{N}{R_bA} = \frac{1600 \times 1000}{16,5 \times 216500} = 0,448$$

$$M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2} = \sqrt{400^2 + 200^2} = 447,2\,kNm$$

Bỏ qua uốn dọc nên $N\eta e_o = M = 447,2$.

$$m = \frac{N\eta e_o}{R_bA_br} = \frac{447,2 \times 10^6}{16,5 \times 216500 \times 262} = 0,478$$

Với n = 0,448; m = 0,478 tra biểu đồ, nội suy có được $\alpha = 0.54$ (ứng với $\beta_a = 0,809$ và $R_s = 400$. Phụ lục 10).

$$A_{st} = \frac{\alpha R_bA_b}{R_s} = \frac{0,54 \times 16.5 \times 216500}{400} = 4822mm^2$$

Kết quả gần với giá trị đã tính được ở trên.

Khi không có biểu đồ phù hợp có thể tính toán theo hướng dẫn ở mục 4.2.5 và theo thí dụ 2 ở mục 4.2.6.

5.7 TÍNH TOÁN KIỂM TRA

5.7.1. Nguyên tắc chung

Tiết diện cho trước với các cốt thép đã được bố trí. Yêu cầu kiểm tra xem tiết diện có đủ khả năng chịu được một bộ ba nội lực gồm N, M_x, M_y.

Theo nguyên tắc, việc kiểm tra cần dựa vào điều kiện (5-6) và (5-7) trong đó có thể:

a) Từ điều kiện (5-7) cho $N = N_{gh}$, xác định vùng chịu nén, các ứng suất σ_i, tính toán M_{gh} và dùng điều kiện (5-6) $Ne \le M_{gh}$ để kiểm tra.

b) Với trường hợp nén lệch tâm bé có thể tìm cách xác định N_{gh} và kiểm tra theo điều kiện $N \le N_{gh}$.

Việc tính toán như trên là khá phức tạp vì còn phải thoả mãn điều kiện thẳng hàng của ba điểm đặt lực. Cho đến nay, trong nhiều trường hợp người ta vẫn dùng phương pháp gần đúng. Sau đây trình bày phương pháp gần đúng đã được công nhận rộng rãi và cũng đã được đưa vào tiêu chuẩn thiết kế của nhiều nước.

Để tính toán chia ra các trường hợp phụ thuộc vào độ lớn của lực nén.

5.7.2. Trường hợp lực nén khá lớn

Lực nén được xem là khá lớn khi thoả mãn điều kiện (5-17):

$$N \geq 0.5\ R_bC_xC_y \qquad (5\text{-}17)$$

Có thể xem khi thoả mãn điều kiện (5-17) là trường hợp nén lệch tâm bé, cần kiểm tra khả năng chịu lực nén.

Khả năng chịu lực nén là N_{gh} được xác định từ phương trình (5-18):

$$\frac{1}{N_{gh}} = \frac{1}{N_x} + \frac{1}{N_y} - \frac{1}{N_o} \qquad (5\text{-}18)$$

Trong đó:

N_o - khả năng chịu nén đúng tâm, xác định theo công thức (1.6) được chép lại sau đây:

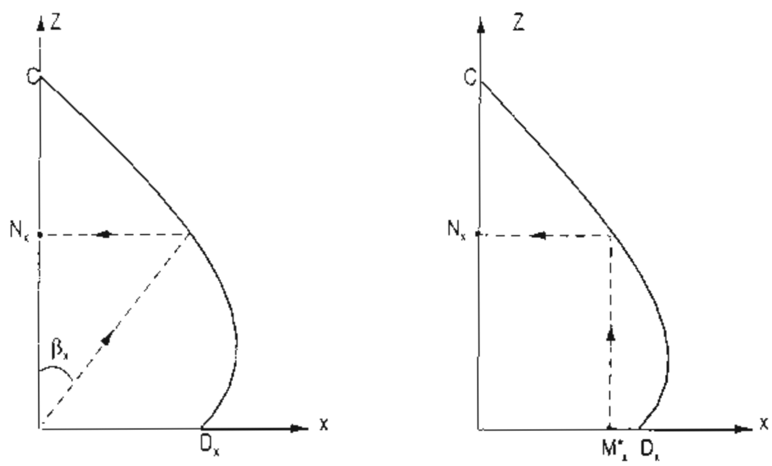
$$N_o = \varphi(R_bA + R_sA_{st})$$

N_x - khả năng chịu nén trường hợp lệch tâm phẳng khi tính toán theo phương x. Tính N_x theo giá trị đã biết của M_x^* hoặc của ηe_{ox}.

N_y - như trên, theo phương y.

Khi đã có biểu đồ tương tác của tiết diện theo hai phương x và y thì việc xác định N_x và N_y được tiến hành một cách dễ dàng (hình 5.12). Lực N_x được xác định từ biểu đồ CD_x (hình 5.8a) với $tg\beta_x = \eta_x e_{ox}$ hoặc với $M_x^* = \eta_x M_x$. Lực N_y từ biểu đồ CD_y (hình 5.8b) với $tg\beta_y = \eta_y e_{oy}$ hoặc với $M_y^* = \eta_y M_y$. Chú ý rằng theo hai cách ($tg\beta$ hoặc M^*) có thể xác định được hai giá trị N khác nhau. Trong tính toán thực hành chỉ cần theo một cách còn nếu theo cả hai cách thì có thể lấy giá trị N lớn hơn để tính toán tiếp.

Biểu đồ CD_x và CD_y được thiết lập trên cơ sở tính toán nén lệch tâm phẳng theo hai phương riêng biệt (xem mục 2.5 và 2.7.5). Cũng cần chú ý rằng $tg\beta$ phải lấy theo tỉ lệ các trục của biểu đồ (ở đây $tg\beta$ có đơn vị là độ dài).



Hình 5.12. Sơ đồ xác định N_x

Trường hợp không có biểu đồ tương tác thì có thể dùng phương pháp tính toán đã trình bày trong mục 2.4.4; 2.4.5 hoặc 2.7.6 để tính toán N_x, N_y (tuỳ thuộc vào cách bố trí cốt thép).

Phương trình (5-18) được Boris Bresler (Mỹ) đề xuất năm 1960 trên cơ sở gần đúng, thay đường cong $D_{Kx}D_{Ky}$ ở hình 5.9a bằng đường thẳng, thay đoạn $CD_{K\alpha}$ ở hình 5.8c bằng đoạn thẳng. Vì cách xét gần đúng, đơn giản hoá như vậy nên trong một số trường hợp có độ an toàn khá cao.

Khi chọn và bố trí cốt thép (không tính toán) thì cần kiểm tra điều kiện $N \le N_{gh}$.

Khi đã tính toán cốt thép một cách đáng tin cậy theo mục 5.6 thì không cần tính toán N_{gh} theo phương trình (5-18) và không cần kiểm tra theo điều kiện vừa nêu. Trong một số trường hợp khi lấy cốt thép đã tính được theo mục 5.6 để xác định N_{gh} thì có thể xảy ra $N > N_{gh}$. Lúc này không nên vội kết luận là tiết diện không đủ khả năng chịu lực hoặc cốt thép còn thiếu mà nên kiểm tra lại cẩn thận các bước, điều kiện, công thức và số liệu đã dùng để tính toán. Nếu việc tính toán cốt thép là đúng đắn thì kết quả vẫn được chấp nhận. Sở dĩ xảy ra $N > N_{gh}$ vì N_{gh} đã được tính toán gần đúng, trong trường hợp này lại quá thiên về an toàn nên giá trị tìm được là khá bé so với khả năng thực của tiết diện.

5.7.3. Trường hợp mômen lớn (lực nén bé)

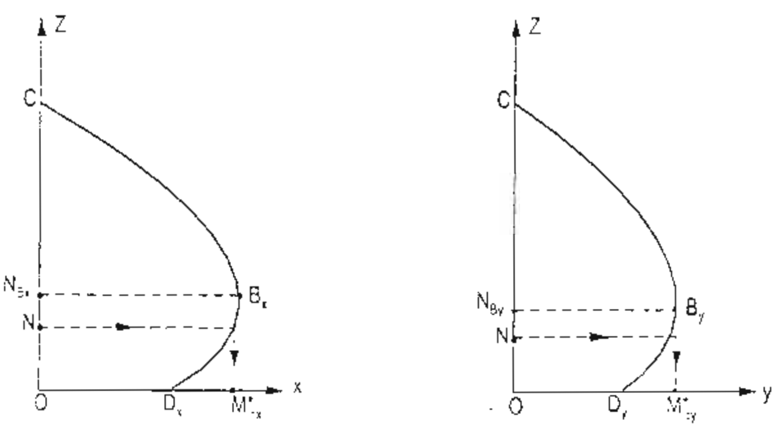
Với một tiết diện cho trước kiểm tra khả năng chịu lực khi lực nén là tương đối bé ($N < 0{,}5\ R_bA_b$), mômen tương đối lớn cần tiến hành theo điều kiện (5-19):

$$\psi = \left(\frac{N\eta_x e_{ox}}{M^*_{ox}}\right)^n + \left(\frac{N\eta_y e_{oy}}{M^*_{oy}}\right)^n \le 1 \qquad (5\text{-}19)$$

Trong đó M^*_{ox}, M^*_{oy} là khả năng chịu mômen uốn được xác định theo trường hợp nén lệch tâm phẳng theo hai phương x và y ứng với lực nén N. Giá trị của M^*_{ox} và M^*_{oy} được thể hiện bằng đoạn O_KD_{Kx} và O_KD_{Ky} trên hình 5.9a.

Điều kiện (5-19) là thể hiện sự vận dụng phương trình (5-8) đã thiết lập dựa trên phân tích sự làm việc của cấu kiện.

Khi có biểu đồ tương tác của nén lệch tâm phẳng theo hai phương thì việc xác định M^*_{ox} và M^*_{oy} là tương đối đơn giản theo hình 5.13. Với giá trị N đã biết, từ biểu đồ CD_x tìm ra M^*_{ox}, từ CD_y tìm ra M^*_{oy}.



Hình 5.13. Sơ đồ xác định M^*_{ox} và M^*_{oy}

Trường hợp không có biểu đồ tương tác có thể tính toán M^*_{ox}, M^*_{oy} một cách gần đúng như sau:

Trên biểu đồ CD_x tính hai giá trị mômen ứng với hai điểm: Điểm D_x (N = 0), mômen M_{Dx} là khả năng chịu uốn phẳng theo phương x. Điểm B_x với lực nén N_{Bx} và mômen M_{Bx}. Điểm B_x được xác định theo trường hợp nén lệch tâm phẳng với chiều cao vùng nén $x = x_x = 0{,}5C_x$ (lúc này $h = C_x$; $b = C_y$). Với giá trị đã biết của x tiến hành tính ứng suất σ_i của các lớp cốt thép A_i theo các chỉ dẫn của mục 2.7.2 hoặc của mục 5.3.

$$N_{Bx} = R_bC_yx_x - \Sigma\sigma_iA_i \qquad (5\text{-}20)$$

$$M_{Bx} = 0{,}5R_bC_yx_x(C_x - x_x) + \Sigma\sigma_iA_iy_i \qquad (5\text{-}21)$$

A_i - diện tích tiết diện của các lớp cốt thép.

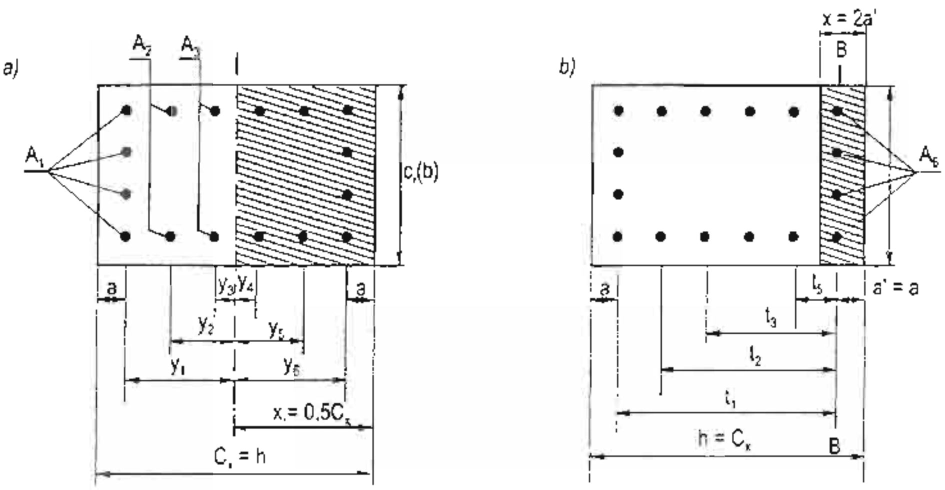
y_i - khoảng cách từ trọng tâm của A_i đến trục trung tâm của tiết diện (hình 5.14a). Giá trị của y_i được lấy theo dấu đại số, $y_i > 0$ khi cốt thép ở khác phía với điểm đặt lực N (so với trục đi qua trọng tâm tiết diện), $y_i < 0$ khi cốt thép ở cùng phía.

Ứng suất σ_i là dương khi chịu kéo, âm khi chịu nén.

Hai công thức (5-20) và (5-21) là viết lại các công thức (2-55) và (2-56).

Mômen M_{Dx} được xác định theo trường hợp uốn phẳng (N = 0). Từ điều kiện N = 0 tìm được chiều cao vùng nén x ; từ x tính toán ra ε_i và σ_i, dùng công thức (2-56) để tính M_{Dx}. Với trường hợp đặt cốt thép đối xứng thường tính được x < 2a' vì vậy nên tính toán theo trường hợp đặc biệt, dùng công thức gần đúng (5-22) bằng cách lấy mômen đối với trục đi qua lớp cốt thép chịu nén ngoài cùng (trục B-B trên hình 5.14b) và xem x = 2a'.

$$M_{Dx} = \Sigma R_sA_it_i \qquad (5\text{-}22)$$



Hình 5.14. Sơ đồ tính M_{Bx} và M_{Dx}

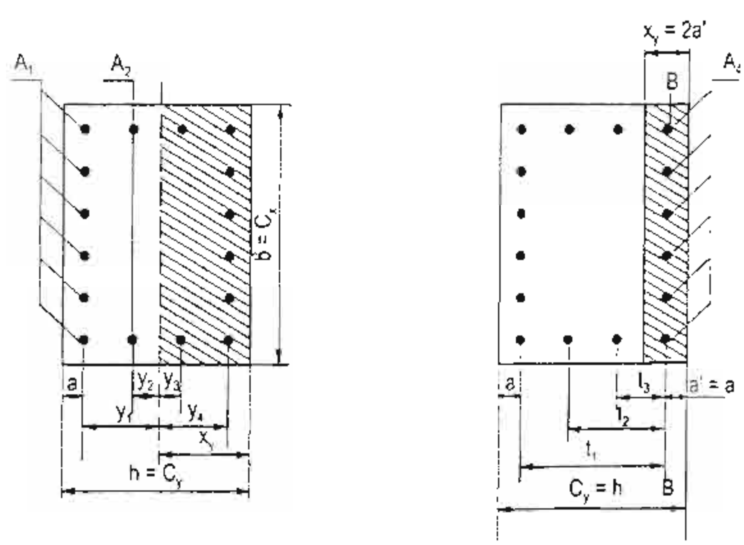
Trong đó t_i là khoảng cách từ lớp cốt thép thứ i đến trục BB (hình 5.14b). Trong công thức (5-22) chỉ lấy các lớp cốt thép có $t_i \geq t_* = \max$ (4a' và 0.3h) để tính toán.

Giá trị M^*_{ox} được tính theo công thức (5-25).

Để tính toán M^*_{oy} cần xác định M_{By}, N_{By} và M_{Dy} ứng với hai điểm B_y và D_y trên biểu đồ CD_y. Tính toán M_{By}, N_{By} và M_{Dy} cũng tiến hành tương tự như trên, theo phương y, theo các kí hiệu trên hình 5.15 (lúc này $h = C_y$; $b = C_x$). Lấy $x_y = 0.5h = 0.5C_y$.

$$N_{By} = R_bC_xx_y - \Sigma\sigma_iA_i \qquad (5\text{-}23)$$

$$M_{By} = 0.5\ R_bC_xx_y\ (C_y - x_y) + \Sigma\sigma_iA_iy_i \qquad (5\text{-}24)$$



Hình 5.15. Sơ đồ tính M_{By}, M_{Dy}

$M_{Dy} = \Sigma R_s A_i t_i$

Chỉ lấy các lớp cốt thép có $t_i \geq t_* = \max$ (4a' và 0,3h) để tính toán.

Tính giá trị M^*_{ox}, M^*_{oy} theo công thức chung (5-25):

$$M^*_{oj} = M_{Dj} + \left(M_{Bj} - M_{Dj}\right)\frac{N}{N_{Bj}} \tag{5-25}$$

j = x, y

Thực chất của cách tính gần đúng trên đây là xác định hai điểm của biểu đồ tương tác và xem đoạn biểu đồ giữa hai điểm là thẳng để nội suy.

Số mũ n trong điều kiện (5-19) như đã trình bày ở công thức (5-8) là: $1 < n \leq 2$. Tiêu chuẩn thiết kế của một số nước Âu Mỹ lấy n theo công thức thực nghiệm sau:

$$n = \left(\frac{N_o + 5N}{N_o + N}\right)^{0,5} \tag{5-26}$$

Việc kiểm tra theo điều kiện (5-19) là bắt buộc đối với trường hợp chọn đặt cốt thép theo cấu tạo hoặc theo một dự kiến nào đó mà không tính toán.

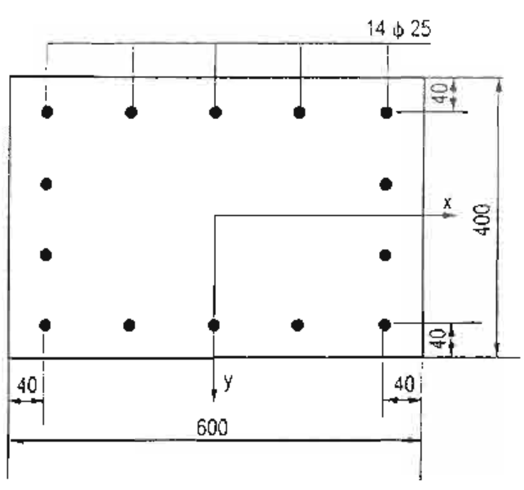
Khi đặt cốt thép theo kết quả tính toán ở mục 5.6 thì không cần kiểm tra lại theo điều kiện (5-19) vì trong một số trường hợp kết quả kiểm tra sẽ không đạt yêu cầu mà nguyên nhân chủ yếu là do M^*_{ox}, M^*_{oy} được tính toán gần đúng, có trị số bé hơn khả năng thực tế của tiết diện.

5.7.4. Trường hợp tiết diện vuông

Tiết diện vuông có số lượng cốt thép từ 12 thanh trở lên có thể được kiểm tra bằng cách đổi thành tiết diện tròn tương đương, đường kính D = 1,05C (C: cạnh tiết diện vuông). Mômen tính toán $M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}$. Với tiết diện tròn không phân biệt nén lệch tâm là xiên hay phẳng.

5.7.5. Thí dụ tính toán

Thí dụ 1. Dùng số liệu của thí dụ 1 mục 2.76, cột có tiết diện cho ở hình 2.21, vẽ lại ở hình 5.16. Bêtông có $R_b = 9$; $E_b = 24000$ MPa, cốt thép có $R_s = R_{sc} = 260$MPa ,



Hình 5.16. Hình vẽ của thí dụ 1

Yêu cầu kiểm tra tiết diện có đủ khả năng chịu bộ ba nội lực gồm N = 1200 kN; M_x = 234 kNm; M_y = 120 kNm. Bỏ qua độ lệch tâm ngẫu nhiên. Chiều dài tính toán $l_{ox} = l_{oy}$ = 4m.

Số liệu: $C_x = 600$; $C_y = 400$; a = 40mm

$R_b = 9$; $E_b = 24000$; $R_s = R_{sc} = 260$ MPa;

Cốt thép 14 ϕ 25, $A_t = 6874mm^2$.

$$\lambda_x = \frac{l_{ox}}{i_x} = \frac{4000}{0,288 \times 600} = 23,1 < 28 \text{. Bỏ qua uốn dọc}$$

$$\lambda_y = \frac{l_{oy}}{i_y} = \frac{4000}{0,288 \times 400} = 34,7 > 28 \text{. Cần xét uốn dọc}$$

Trường hợp tính toán:

$$0.5R_bC_xC_y = 0.5 \times 9 \times 400 \times 600 = 1080000 = 1080 \text{ kN}$$

N = 1200 > 1080. Tính theo trường hợp lực nén lớn, dùng phương trình (5-18) để xác định N_{gh}.

Tính khả năng chịu nén đúng tâm N_o:

$$\lambda = \max(\lambda_x, \lambda_y) = 34.7$$

Hệ số uốn dọc $\varphi = 1.028 - 0.0000288\lambda^2 - 0,0016\lambda$

$$\varphi = 1.028 - 0,0000288 \times 34,7^2 - 0.0016 \times 34.7 = 0.938$$

$$N_o = \varphi(R_b A + R_{sc}A_{st}) \text{ với } A = 400 \times 600 - 6874 = 233100mm^2$$

$$N_o = 0,938(9 \times 233100 + 260 \times 6874) = 3644000 = 3644 \text{ kN.}$$

Tính giá trị N_x.

Theo phương x có $\lambda_x = 23.1$; bỏ qua uốn dọc, η = 1.

$$e_o = \frac{M_x}{N} = \frac{234}{1200} = 0.195m = 195mm$$

ηe_o = 195mm.

Thí dụ ở mục 2.7.6, với ηe_o = 195mm đã tính được N_x = 2083 kN (đã tính toán theo cách gần đúng hoặc sử dụng biểu đồ tương tác).

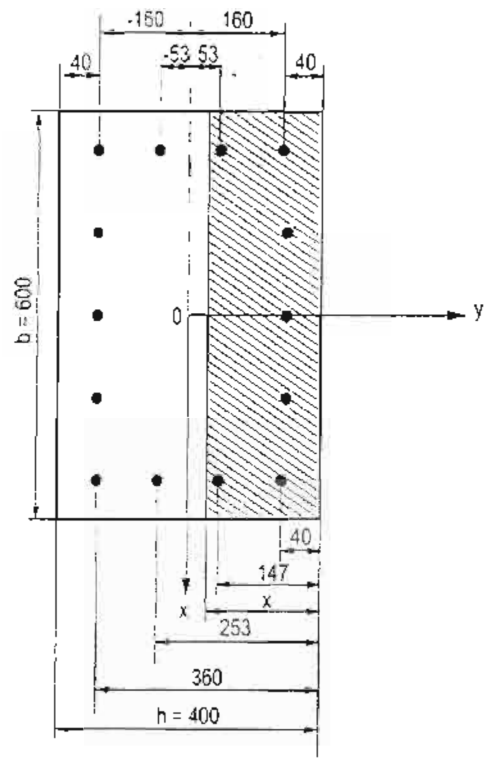
Tính giá trị N_y. Tính toán theo trường hợp nén lệch tâm phẳng với b = C_x = 600; h = C_y = 400mm. Theo phương y cốt thép được đặt thành 4 hàng:

$A_1 = A_4$ = 5 ϕ 25 = 2455 mm^2;

$A_2 = A_3$ = 2 ϕ 25 = 982 mm^2; $A_s = \Sigma A_i$ = 6874.

Sơ đồ tính toán vẽ trên hình 5.17, số liệu ghi ở bảng sau:

Kí hiệu	Diện tích mm²	y_i(mm)	h_{oi}(mm)
A_1	2455	160	360
A_2	982	53	253
A_3	982	-53	147
A_4	2455	-160	40



Hình 5.17. Sơ đồ tính N_y

Xét uốn dọc: $\lambda_y = 34{,}7 > 28$ cần xét uốn dọc

$$J = \frac{bh^3}{12} = \frac{600 \times 400^3}{12} = 32 \times 10^8 \text{mm}^4$$

$$N_{th} = \frac{2{,}5E_bJ}{l_o^2} = \frac{2{,}5 \times 24000 \times 32 \times 10^8}{4000^2} = 12000 \times 10^3 = 12000\text{kN}$$

$$\eta = \frac{1}{1 - \dfrac{N}{N_{th}}} = \frac{1}{1 - \dfrac{1200}{12000}} = 1{,}11$$

$$e_o = \frac{M_y}{N} = \frac{120}{1200} = 0{,}1\text{m} = 100\text{mm}$$

$\eta e_o = 1{,}11 \times 100 = 111$mm.

Tính ước chừng chiều cao vùng nén theo công thức (2-60):

$$x(0,5h-\eta e_o)+\sqrt{(0,5h-\eta e_o)^2+\frac{0,8R_sA_s(h-2a)}{R_bb}}$$

$$x=(200-111)+\sqrt{(200-111)^2+\frac{0,8\times260\times6874(400-80)}{9\times600}}=393\text{mm}$$

$$\frac{x}{h}=\frac{393}{400}=0,98$$

Để tính toán σ_i có thể theo một trong hai cách: Dùng công thức thực nghiệm (2-54) của TCXDVN 356 - 2005 hoặc dựa vào biến dạng ε_i, theo công thức (1-24), (1-25). Ở thí dụ của mục 2-7-6, khi tính N_x đã dùng công thức (2-54). Dưới đây, để tính N_y, trình bày cách tính theo ε_i.

Khảo sát của tác giả thấy rằng kết quả N theo hai cách tính là gần bằng nhau. Việc trình bày cả hai cách tính chỉ nhằm mở rộng phương pháp. Trong tính toán thực hành chỉ cần dùng một trong hai phương pháp là được.

Lấy hai giá trị x_o để tính toán, $x_{01}=350$; $x_{02}=300$mm

$$E_s=210000\text{MPa}\ ;\ \varepsilon_T=\frac{R_s}{E_s}=\frac{260}{210000}=0.001238$$

Biến dạng của bêtông $\varepsilon_c=0{,}003$.

Với: $x_{01}=350;\ \varepsilon_1=\dfrac{h_{01}-x_{01}}{x_{01}}\varepsilon_c=\dfrac{(360-350)0,003}{350}=0.0000857$

$$\sigma_1=\varepsilon_1E_s=0.0000857\times260000=18\text{ MPa (kéo)}$$

$$\varepsilon_2=\frac{(253-350)0.003}{350}=-0.00083\ ;\ \sigma_2=-174\ \text{(nén)}$$

$$\varepsilon_3=\frac{(147-350)0,003}{350}=-0.00174>\varepsilon_T\ ;\ \sigma_3=-R'_s=-260$$

Kết quả tính toán về ε_i và σ_i ghi trong bảng sau:

Lớp cốt thép	$x_{01}=350$		$x_{02}=300$	
	ε_i	σ_i	ε_i	σ_i
A_1; $h_{01}=360$	0,0000857	18	0,0006	126
A_2; $h_{02}=253$	-0,00083	- 174	- 0,00047	- 99
A_3; $h_{03}=147$	- 0,00174	- 260	- 0,00153	- 260
A_4; $h_{04}=40$	x	- 260	x	- 260

Kết quả tính toán về lực ghi trong bảng sau:

x_o	$A_1 = 2455$ $y_1 = 160$		$A_2 = 982$ $y_2 = 53$		$A_3 = 982$ $y_3 = -53$		$A_4 = 2455$ $y_4 = -160$	
	σA 10^3	σAy 10^6	σA 10^3	σAy 10^6	σA 10^3	σAy 10^6	σA 10^3	σAy 10^6
350	44,2	7,07	-10,7,8	-5,7	-255,3	13,5	-638	102,1
300	309	49,4	-97,2	-5,1	-255,3	13,5	-638	102,1

Với $x_o = 350$: $x = 0{,}85x_o = 0{,}85 \times 350 = 298$mm

$$N_1 = R_b bx - \Sigma\sigma_i A_i$$

$$N_1 = 9 \times 600 \times 298 - [44200 - 107800 - 255300 - 638000] = 2566000$$

$$N_1 = 2566 \text{ kN}$$

$$N_2 = \frac{0{,}5R_b bx(h - x) + \sum \sigma_i A_i y_i}{\eta e_o}$$

$$\sum \sigma_i A_i y_i = (7{,}07 - 5{,}7 + 13{,}5 + 102{,}1)10^6 = 116{,}97 \times 10^6$$

$$N_2 = \frac{0{,}5 \times 9 \times 600 \times 298(400 - 298) + 116{,}97 \times 10^6}{111} = 1793000$$

Với $x_o = 300$: $x = 0{,}85 \times 300 = 255$mm

$$N_1 = 9 \times 600 \times 255 - (309 - 97{,}2 - 255{,}3 - 638)\ 10^3 = 2058000$$

$$\sum \sigma_i A_i y_i = (49{,}4 - 5{,}1 + 13{,}5 + 102{,}1)10^6 = 159{,}9 \times 10^6$$

$$N_2 = \frac{0{,}5 \times 9 \times 600 \times 255(400 - 255) + 159{,}9 \times 10^6}{111} = 2340000$$

Kết quả tính toán ghi ở bảng sau:

	x_o	x	N_1	N_2
j	350	298	2566	1793
K	300	255	2058	2340

$$N = \frac{N_{1j}(N_{2K} - N_{2j}) - N_{2j}(N_{1K} - N_{1j})}{N_{1j} + N_{2K} - N_{2j} - N_{1K}}$$

$$= \frac{2566(2340 - 1793) - 1793(2058 - 2566)}{2566 + 2340 - 1793 - 2050} = 2180$$

Tìm được $N_y = 2180$ kN.

$$\frac{1}{N_{gh}} = \frac{1}{N_x} + \frac{1}{N_y} - \frac{1}{N_o} = \frac{1}{2083} + \frac{1}{2180} - \frac{1}{3644} = 0{,}00067618$$

$$N_{gh} = \frac{1}{0,00067618} = 1479\text{kN}$$

$$N = 1200 < N_{gh} = 1479$$

Thoả mãn điều kiện $N \leq N_{gh}$. Tuy vậy mức độ chênh lệch là khá lớn: $\frac{1479-1200}{1200} \times 100\% = 23\%$. Để tiết kiệm nên giảm bớt cốt thép rồi tính toán lại.

Thí dụ 2. Với kích thước tiết diện và bố trí cốt thép như ở thí dụ 1 (hình 5.16). Yêu cầu kiểm tra khả năng chịu bộ ba nội lực gồm N = 800 kN;

$$M_x = 238 \text{ kNm};\ M_y = 180 \text{ kNm}.$$

Trường hợp tính toán:

$$0,5R_bC_xC_y = 0,5 \times 90 \times 600 \times 400 = 1080000 = 1080 \text{ kN}$$

N = 800 < 1080. Tính kiểm tra theo điều kiện (5-19).

a) Theo phương x. Lấy $x = x_x = 0.5\ C_x = 300$mm

$$x_o = \frac{300}{0.85} = 353.\ \text{Tính } \varepsilon_i \text{ và } \sigma_i$$

$$\varepsilon_i = \frac{Z_i - x_o}{x_o}\varepsilon_c\ ;\ \varepsilon_T = \frac{R_s}{E_s} = 0,001238$$

$$\varepsilon_1 = \frac{(560-353)0,003}{353} = 0,00176 > \varepsilon_T:\ \sigma_1 = R_s = 260$$

$$\varepsilon_2 = \frac{(430-353)0,003}{353} = 0,000654 < \varepsilon_T$$

$$\sigma_2 = 0,000654 \times 210000 = 137$$

$$\varepsilon_3 = \frac{(300-353)0,003}{353} = -0,00045\ ;\ \sigma_3 = -95$$

$$\varepsilon_4 = \frac{(170-353)0,003}{353} = -0,00155\ ;\ \sigma_4 = -260$$

Kết quả tính toán ghi trong bảng sau:

Cốt thép		$A_1 = 1964$	$A_2 = 982$	$A_3 = 983$	$A_4 = 982$	$A_5 = 1964$
h_{oi}		560	430	300	170	40
y_i		260	130	0	- 130	- 260
t_i		520	390	260	130	0
x = 300	ε_i	0,00176	0,000654	- 0,00045	- 0,00155	x
$x_o = 353$	σ_i	260	137	-95	-260	-260
$\sigma_iA_i\ (10^3)$		510,64	134,53	- 93,29	- 255,32	- 510,64
$\sigma_iA_iy_i\ (10^6)$		132,76	17,489	0	33,19	132,76
$R_sA_it_i\ (10^6)$		265,53	99,57	66,38	x	x

t_x = max (4a' và 0,3h) = max (160 và 0,3h = 180) = 180mm.

Chỉ lấy các giá trị $t_i \geq 180$ để tính toán:

$$\Sigma\sigma_i A_i = (510,64 + 134,53 - 93,29 - 255,32 - 510,64)10^3 = -214 \times 10^3$$

$$\Sigma\sigma_i A_i y_i = (132,76 + 17,489 + 33,19 + 132,76)10^6 = 316,2 \times 10^6$$

$$N_{Bx} = R_b C_y x_x - \Sigma\sigma_i A_i = 9 \times 400 \times 300 - (-214000) = 1294000 = 1294 \text{ kN}$$

$$M_{Bx} = 0,5 R_b C_y x_x (C_x - x_x) + \Sigma\sigma_i A_i y_i$$

$$= 0,5 \times 9 \times 400 \times 300\,(600 - 300) + 316,2 \times 10^6 = 478,2 \times 10^6$$

$$M_{Bx} = 478,2 \text{ kNm}$$

$$M_{Dx} = \Sigma R_s A_i t_i\,(265,53 + 99,57 + 66,38)10^6 = 431,5 \times 10^6$$

$$M_{Dx} = 431,5 \text{ kNm}$$

$$M^*_{ox} = M_{Dx} + (M_{Bx} - M_{Dx})\frac{N}{N_{Bx}}$$

$$M^*_{ox} = 431,5 + (478,2 - 431,5)\frac{800}{1294} = 460,4$$

b) Theo phương y. Lấy $x = x_y = 0,5\,C_y = 200$mm

$x_o = \dfrac{200}{0,85} = 235$mm . Kết quả tính toán ghi trong bảng sau:

Cốt thép	$A_1 = 5\phi25 = 2455$	$A_2 = 2\phi25 = 982$	$A_3 = 2\phi25 = 982$	$A_4 = 5\phi25 = 2455$
h_{oi}	360	253	147	40
y_i	160	53	-53	-160
t_i	320	213	107	0
ε_i	0,00159	0,000229	- 0,001257	x
σ_i	260	48	- 260	- 260
$\sigma_i A_i\ (10^3)$	638,3	47,13	- 255,32	- 638,3
$\sigma_i A_i y_i\ (10^6)$	102,13	2,5	13,53	102,13
$R_s A_i t_i\ (10^6)$	204,26	54,38	-	-

t_* = max (4a' = 160 và 0,3h = 120) = 160.

M_{Dy} chỉ được tính với A_1 và A_2 có t > 160.

$$M_{Dy} = \Sigma R_s A_i t_i = (204,26 + 54,38)10^6 = 258,64 \times 10^6$$

$$M_{Dy} = 258,64 \text{ kNm}$$

$$N_{By} = R_b C_x x_y - \Sigma\sigma_i A_i$$

$$= 9 \times 600 \times 200 - (47,13 - 255,32)10^3 = 1288 \times 10^3 = 1288 \text{ kN}$$

$$M_{By} = 0,5R_bC_xx_y\,(C_y - x_y) + \Sigma\sigma_iA_iy_i$$

$$= 0,5 \times 9 \times 600 \times 200\,(400 - 200) + (102,13 + 2,5 + 13,53 + 102,13)10^6$$

$M_{By} = 328,3 \times 10^6 = 328,3$ kNm.

$$M^*_{oy} = M_{Dy} + (M_{By} - M_{Dy})\frac{N}{N_{By}} = 258,64 + (328,3 - 258,64)\frac{800}{1288} = 301,9$$

$M^*_{oy} = 301,9$ kNm

c) Xác định $N\eta e_{ox}$ và $N\eta e_{oy}$

Theo phương x bỏ qua ảnh hưởng uốn dọc nên:

$N\eta e_{ox} = M_x = 238$ kNm

Theo phương y có $\lambda_h = \dfrac{l_o}{C_y} = \dfrac{4000}{400} = 10 > 8$

(hoặc $\lambda = \dfrac{l_o}{i} = \dfrac{4000}{0,288 \times 400} = 34,7 > 28$)

Cần xét uốn dọc. Đã tính được $N_{th} = 12000$ kN (thí dụ 1)

$$\eta = \frac{1}{1 - \dfrac{800}{12000}} = 1,07$$

Bỏ qua độ lệch tâm ngẫu nhiên nên:

$N\eta e_{oy} = \eta M_y = 1,07 \times 180 = 192,6$ kNm

d) Tính n và kiểm tra

$n = \left(\dfrac{N_o + 5N}{N_o + N}\right)^{0,5}$. Ở thí dụ 1 đã tính được $N_o = 3644$.

$$n = \left(\frac{3644 + 5 \times 800}{3644 + 800}\right)^{0,5} = 1,31$$

$$\psi = \left(\frac{N\eta e_{ox}}{M^*_{ox}}\right)^n + \left(\frac{N\eta e_{oy}}{M^*_{oy}}\right)^n = \left(\frac{238}{460,4}\right)^{1,31} + \left(\frac{192,6}{301,9}\right)^{1,31} = 0,4213 + 0,555 = 0,9763$$

$\psi = 0,9763 < 1$. Thoả mãn điều kiện kiểm tra.

Phụ lục 1

HỆ SỐ ĐIỀU KIỆN LÀM VIỆC CỦA BÊTÔNG (TRÍCH TCXDVN 356 : 2005)

Các yếu tố cần kể đến hệ số điều kiện làm việc của bê tông	Hệ số KĐLV của bê tông	
	Kí hiệu	Giá trị
1. Tải trọng lặp (rung động)	γ_{b1}	Có quy định riêng
2. Tính chất tác dụng của tải trọng: a) Khi kể đến tải trọng thường xuyên, tải trọng tạm thời dài hạn và ngắn hạn ngoại trừ tải trọng tác dụng ngắn hạn mà tổng thời gian tác dụng của chúng trong thời gian sử dụng nhỏ; cũng như khi kể đến tải trọng đặc biệt gây biến dạng lún không đều v.v... a1) Đối với bê tông nặng, bê tông hạt nhỏ, bê tông nhẹ đóng rắn tự nhiên và bê tông được dưỡng hộ nhiệt trong điều kiện môi trường + Đảm bảo cho bê tông được tiếp tục tăng cường độ theo thời gian + Không đảm bảo cho bê tông được tiếp tục tăng cường độ theo thời gian a2) Đối với bê tông tổ ong, bê tông rỗng, không phụ thuộc vào điều kiện sử dụng b) Khi kể đến tải trọng tạm thời ngắn hạn (tác dụng ngắn hạn) trong tổ hợp đang xét hay tải trọng đặc biệt* không nêu trong mục 2a, đối với các loại bê tông	γ_{b2}	 1,0 0,9 0,85 1,10
3. Đổ bê tông theo phương đứng, mỗi lớp dày trên 1,5m đối với: + Bêtông nặng, bê tông nhẹ và bê tông hạt nhỏ + Bê tông tổ ong và bê tông rỗng	γ_{b3}	0,85 0,85
4. Ảnh hưởng của trạng thái ứng suất hai trục "nén - kéo" đến cường độ bê tông	γ_{b4}	
5. Đổ bê tông cột theo phương đứng, kích thước lớn nhất của tiết diện cột nhỏ hơn 30cm	γ_{b5}	0,85
* Khi đưa thêm hệ số điều kiện làm việc bổ sung trong trường hợp kể đến tải trọng đặc biệt theo chỉ dẫn của tiêu chuẩn tương ứng (ví dụ: khi kể đến tải trọng động đất) thì lấy γ_{b2} = 1. ***Chú thích:*** *1. Hệ số điều kiện làm việc γ_{b1} được dùng khi tính theo độ bền mỏi, hệ số γ_{b4} được dùng để xác định cường độ chịu kéo khi tính toán kiểm tra điều kiện sử dụng bình thường (trạng thái giới hạn thứ 2).* *2. Các hệ số γ_{b2}, γ_{b3}, γ_{b5} dùng để xác định cường độ tính toán R_b của cấu kiện bê tông cốt thép thường (ngoại trừ kết cấu dùng bê tông tổ ong còn phải xét thêm độ ẩm của bê tông).* *3. Khi có đồng thời các yếu tố cần kể đến hệ số điều kiện làm việc thì lấy γ_b bằng tích của các hệ số riêng biệt, không phụ thuộc lẫn nhau.*		

Phụ lục 2

CƯỜNG ĐỘ TÍNH TOÁN
VÀ MÔ ĐUN ĐÀN HỒI CỦA BÊ TÔNG

Cường độ tính toán của bê tông kí hiệu là R_b được cho ở bảng của phụ lục. Khi có các yếu tố kể đến điều kiện làm việc của bê tông thì R_b cần được nhân với hệ số điều kiện làm việc γ_b (cho ở phụ lục 1).

Giá trị của R_b được lấy phụ thuộc vào mác hoặc cấp độ bền của bê tông.

Theo tiêu chuẩn TCVN 5574 - 1991 (tiêu chuẩn cũ) thì mác là con số lấy bằng cường độ chịu nén trung bình của mẫu thử tiêu chuẩn tính theo đơn vị kG/cm^2. Kí hiệu mác bằng chữ M. Bê tông có các mác: M75; M100; M150; M200… M800.

Theo tiêu chuẩn TCXDVN 356:2005 (tiêu chuẩn hiện hành thay thế TCVN 5574 - 1991) thì cấp độ bền là con số lấy bằng cường độ đặc trưng của các mẫu thử tiêu chuẩn tính theo đơn vị MPa. Cường độ đặc trưng được xác định theo tính toán thống kê với xác suất bảo đảm không dưới 95%. Kí hiệu cấp độ bền bằng chữ B. Bê tông có các cấp độ bền B5; B7,5; B10; B12,5; B15… B60.

Có thể thiết lập tương quan giữa B và M theo biểu thức sau:

$$B = \alpha\beta M$$

α - hệ số chuyển đổi đơn vị giữa MPa và kG/cm^2. (lấy gần đúng 1MPa = 10kG/cm^2, từ đó $\alpha = 0,1$).

β - hệ số xác định theo tính toán thống kê. Với phân phối chuẩn và xác suất bảo đảm 95% thì $\beta = 1 - 1,64\ v$ trong đó v là hệ số biến động.

Với bê tông có chất lượng thi công bảo đảm có thể lấy $v = 0,135$, như vậy $\beta = 0,778$.

Bảng PL2a. Cường độ tính toán R_b của bê tông (trích TCXDVN 356 : 2005)

Loại bê tông	Giá trị R_b - MPa ứng với cấp độ bền hoặc mác của bê tông									
	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60
	M200	M250	M350	M400	M450	M500	M600	M700	M750	M800
Bê tông nặng Bê tông hạt nhỏ	8,5	11,5	14,5	17,0	19,5	22,0	25,0	27,5	30,0	33,0
Bê tông nhẹ	8,5	11,5	14,5	17,0	19,5	22,0	-	-	-	-

Chú thích: Khi có các yếu tố kể đến sự làm việc của bê tông thì cần nhân giá trị của R_b cho trong bảng với hệ số γ_b ở phụ lục 1.

Bảng PL 2b. Môđun đàn hồi E_b của bê tông
(theo TCXDVN 356 : 2005)

Loại bê tông		Giá trị của E_b: 10^3MPa ứng với cấp độ bền và mác của bêtông									
		B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60
		M200	B250	M350	M400	M450	M500	M600	M700	M750	M800
Bê tông nặng	Đóng rắn tự nhiên	23,0	27,0	30,0	32,5	34,5	36,0	37,5	39	39,5	40,0
	Dưỡng hộ ở áp suất khí quyển	20,5	24,0	27,0	29,0	31,0	32,5	34,0	35	35,5	36,0
	Chưng áp	17,0	20,0	22,5	24,5	26,0	27,0	28,0	29	29,5	30,0
Bê tông hạt nhỏ nhóm A	Đóng rắn tự nhiên	19,5	22,0	24,0	26,0	27,5	28,5	-	-	-	-
	Dưỡng hộ ở áp suất khí quyển	17,0	20,0	21,5	23,0	24,0	24,5	-	-	-	-
Bê tông hạt nhỏ nhóm B	Đóng rắn tự nhiên	17,0	20,0	21,5	23,0	-	-	-	-	-	-
	Dưỡng hộ ở áp suất khí quyển	15,5	17,5	19,0	20,5	-	-	-	-	-	-

Chú thích: *Bê tông hạt nhỏ nhóm A, cốt liệu cát có môđun độ lớn > 2. Bê tông hạt nhỏ nhóm B, cốt liệu cát có môđun độ lớn ≤ 2.*

Phụ lục 3

CƯỜNG ĐỘ TÍNH TOÁN VÀ MÔ ĐUN ĐÀN HỒI CỦA CỐT THÉP

Cường độ tính toán của cốt thép về kéo R_s và về nén R_{sc} được lấy theo nhóm hoặc loại cốt thép.

Theo tiêu chuẩn TCVN 1651 - 1985 cốt thép cán nóng được chia thành các nhóm CI, CII, CIII, CIV.

Theo tiêu chuẩn TCVN 6285 - 1997 cốt thép được chia theo các loại RB300; RB400; RB400W; RB500; RB500W (con số đằng sau chữ RB là giới hạn chảy của cốt thép với xác suất bảo đảm 95%, tính bằng MPa).

Cốt thép AI, AII… AVI là cốt thép của Nga.

Bảng PL3a. Cường độ tính toán của cốt thép thanh

Nhóm, loại cốt thép	Cường độ tính toán - MPa	
	Chịu kéo R_s	Chịu nén R_{sc}
CI, AI	225	225
CII, AII, RB300,	280	280
AIII có đường kính 6 ÷ 8mm	355	355
CIII, RB400, RB400W, AIII có đường kính 10 ÷ 40mm	365	365
RB 500, RB500W	400	400
CIV, AIV	510	400 (450)
AV	680	400 (500)
AVI	815	400 (500)
A_TVII	980	400 (500)

Chú thích: Các số liệu đối với thép CI ÷ CIV và AI ÷ A_TVII được lấy theo TCVN 356: 2005. Con số ghi trong ngoặc đối với R_{sc}: (450), (500) được dùng khi trong tính toán kể đến các tải trọng ở mục 2a của PL1.

Các số liệu đối với cốt thép RB300 ÷ RB500 được lấy theo các loại thép tương đương.

Trong những trường hợp cần kể đến sự làm việc của cốt thép thì R_s và R_{sc} phải được nhân với hệ số điều kiện làm việc của cốt thép γ_{si}. Với kết cấu dùng bê tông nhẹ, bê tông tổ ong dùng hệ số γ_{s7}, γ_{s8}. Với kết cấu dùng cốt thép cường độ cao từ nhóm CIV trở lên dùng hệ số γ_{s6}. Kết cấu chịu tải trọng rung động dùng hệ số γ_{s3}, γ_{s4}. Các hệ số này được cho trong TCXDVN 356 : 2005 điều 5.2.2.4.

Với cột chịu nén dùng bê tông nặng thông thường và dùng cốt thép có $R_s \leq 400$ MPa nói chung không cần kể đến hệ số γ_s.

Bảng PL 3b. Môđun đàn hồi E_s của cốt thép

Nhóm, loại cốt thép	CI, AI CII, AII, RB300	CIII, AIII, RB400, RB500	CIV, AIV, AV, AVI, A_TVII
E_s : MP_a	210000	200000	190000

Phụ lục 4

HỆ SỐ ξ_R ĐỂ PHÂN BIỆT CHIỀU CAO VÙNG CHỊU NÉN CỦA BÊ TÔNG

Theo TCXDVN 356 : 2005 hệ số ξ_R được xác định bằng công thức thực nghiệm:

$$\xi_R = \frac{\omega}{1 + \frac{\sigma_{SR}}{\sigma_{sc,u}}\left(1 - \frac{\omega}{1,1}\right)}.$$

ω - đặc trưng vùng chịu nén của bê tông: $\omega = \alpha - 0,008R_b$

R_b - tính bằng đơn vị MPa. Hệ số α lấy như sau:

Đối với bê tông nặng : $\alpha = 0,85$.

Đối với bê tông hạt nhỏ nhóm A: $\alpha = 0,80$

Đối với bê tông hạt nhỏ nhóm B: $\alpha = 0,75$

Đối với bê tông nhẹ: $\alpha = 0,80$

σ_{SR} - ứng suất trong cốt thép (MPa)

Đối với cốt thép có giới hạn chảy thực tế ($R_s \leq 400$ MPa)

$$\sigma_{SR} = R_s - \sigma_{sp}$$

Đối với cốt thép có giới hạn chảy quy ước (CIV, AIV, AV, AVI, A_TVII):

$$\sigma_{SR} = R_s + 400 - \sigma_{sp} - \Delta\sigma_{sp}$$

σ_{sp} - ứng suất trước trong cốt thép. Với các cột bằng bê tông cốt thép thường thì $\sigma_{sp} = 0$.

$\Delta\sigma_{sp}$ - gia số của ứng suất trước trong cốt thép, phụ thuộc vào phương pháp căng. Với các cột thông thường $\Delta\sigma_{sp} = 0$.

$\sigma_{sc,u}$ - ứng suất giới hạn của cốt thép ở vùng chịu nén, được lấy như sau:

Đối với các cấu kiện làm từ bê tông nặng, bê tông hạt nhỏ, bê tông nhẹ, tuỳ thuộc vào các yếu tố nêu trong bảng phụ lục 1.

- Với loại tải trọng tác dụng như tại mục 2a: $\sigma_{sc,u} = 500$MPa

- Với loại tải trọng tác dụng như tại mục 2b: $\sigma_{sc,u} = 400$MPa.

Bảng PL4. Hệ số ξ_R đối với cấu kiện làm từ bê tông nặng và cốt thép thường

R_s(MPa)	Giá trị ξ_R ứng với R_b của bê tông									
	8	10	12	15	17	20	22	25	28	30
225	0,677	0,658	0,640	0,613	0,596	0,570	0,553	0,532	0,503	0,487
280	0,655	0,636	0,617	-,590	0,573	0,547	0,530	0,510	0,480	0,465
365	0,623	0,604	0,585	0,558	0,540	0,510	0,498	0,479	0,449	0,433
400	0,611	0,592	0,573	0,546	0,528	0,502	0,485	0,467	0,437	0,422
510	0,576	0,556	0,538	0,510	0,493	0,467	0,451	0,433	0,404	0,390

Chú thích: Giá trị R_b dùng để xác định ξ_R được tính với hệ số γ_{b2}, không kể đến các hệ số γ_{bi} khác.

Phụ lục 5

CÔNG THỨC GIẢI PHƯƠNG TRÌNH BẬC BA

Cho phương trình: $x^3 + ax^2 + bx + c = 0$

Đặt $\quad z = x + \dfrac{a}{3}$ đổi thành: $z^3 + \alpha z + \gamma = 0$

$$\alpha = b - \frac{a^2}{3} \;;\; \gamma = \frac{2a^3}{27} + c - \frac{ab}{3}$$

Đặt $\quad K = \gamma^2 + 4\left(\dfrac{\alpha}{3}\right)^3.$

Các phương trình bậc 3 khi tính chiều cao vùng nén của tiết diện bêtông cốt thép thông thường đều có $K \geq 0$.

$$A = \left(\frac{\gamma + \sqrt{K}}{2}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$D = \left(\frac{\gamma + \sqrt{K}}{2}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$z = -(A + D) \;;\; x = z - \frac{a}{3}$$

Thí dụ: phương trình $x^3 - 3x^2 + 5x - 6 = 0$

$$\alpha = b - \frac{a^2}{3} = 5 - \frac{(-3)^2}{3} = 2$$

$$\gamma = \frac{2}{27}(-3)^3 - 6 - \frac{(-3\times 5)}{3} = -3$$

$$K = \gamma^2 + 4\left(\frac{\alpha}{3}\right)^3 = (-3)^2 + 4\left(\frac{2}{3}\right)^3 = 10,185185$$

$$A = \left(\frac{\gamma + \sqrt{K}}{2}\right)^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{-3 + \sqrt{10,185185}}{2}\right)^{\frac{1}{3}} = 0,457427$$

$$D = \left(\frac{\gamma + \sqrt{K}}{2}\right)^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{-3 + \sqrt{10,185185}}{2}\right)^{\frac{1}{3}} = -1,457427$$

$$z = -(A + D) = -(0,457427 - 1,457427) = 1$$

$$x = z - \frac{a}{3} = 1 + \frac{3}{5} = 2$$

Phụ lục 6A

BẢNG TRA CÁC HỆ SỐ ξ, ζ, α_m

$$\zeta = 1 - 0.5\xi ; \alpha_m = \xi\zeta ; \zeta = 0,5\left(1 + \sqrt{1 - 2\alpha_m}\right)$$

ξ	ζ	α_m
0,01	0,995	0,01
0,02	0,990	0,02
0,03	0,985	0,03
0,04	0,980	0,039
0,05	0,975	0,049
0,06	0,970	0,058
0,07	0,965	0,067
0,08	0,960	0,077
0,09	0,955	0,086
0,10	0,950	0,095
0,11	0,945	0,104
0,12	0,940	0,113
0,13	0,935	0,121
0,14	0,930	0,130
0,15	0,925	0,139
0,16	0,920	0,147
0,17	0,915	0,155
0,18	0,910	0,164
0,19	0,905	0,172
0,20	0,900	0,180
0,21	0,895	0,188
0,22	0,890	0,196
0,23	0,885	0,203
0,24	0,880	0,211
0,25	0,875	0,219
0,26	0,870	0,226
0,27	0,865	0,234
0,28	0,860	0,241
0,29	0,855	0,248
0,30	0,850	0,255
0,31	0,845	0,262
0,32	0,840	0,269
0,33	0,835	0,275
0,34	0,830	0,282

ξ	ζ	α_m
0,35	0,825	0,289
0,36	0,820	0,295
0,37	0,815	0,301
0,38	0,810	0,308
0,39	0,805	0,314
0,40	0,800	0,320
0,41	0,795	0,326
0,42	0,790	0,332
0,43	0,785	0,337
0,44	0,780	0,343
0,45	0,775	0,349
0,46	0,770	0,354
0,47	0,765	0,359
0,48	0,760	0,365
0,49	0,755	0,370
0,50	0,750	0,375
0,51	0,745	0,380
0,52	0,740	0,385
0,53	0,735	0,390
0,54	0,730	0,395
0,55	0,725	0,400
0,56	0,720	0,403
0,57	0,715	0,407
0,58	0,710	0,412
0,59	0,705	0,416
0,60	0,700	0,420
0,61	0,695	0,424
0,62	0,690	0,428
0,63	0,685	0,432
0,64	0,680	0,435
0,65	0,675	0,439
0,66	0,670	0,442
0,67	0,665	0,445
0,68	0,660	0,449

Phụ lục 6B

BẢNG TRA HỆ SỐ α_a; T

$$T = \alpha_a(0,5\alpha_a - 1)\ ;\ \alpha_a = 1 + \sqrt{1 + 2T}$$

α_a	T
2,0	0,00
2.1	0,105
2,2	0,220
2,3	0,345
2,4	0,480
2,5	0,625
2,6	0,780
2,7	0,945
2,8	1,120
2,9	1,305
3,0	1,500
3,1	1,705
3,2	1,920
3,3	2,145
3,4	2,380
3,6	2,880
3,7	3,145
3,8	3,420
3,9	3,705
4,0	4,000
4,1	4,305
4,2	4,620
4,3	4,945
4,4	5,280
4,5	5,625
4,6	5,980
4,7	6,345
4,8	6,720
4,9	7,105

α_a	T
5,0	7,500
5,1	7,905
5,2	8,320
5,3	8,745
5,4	9,180
5,5	9,625
5,6	10,080
5,7	10,545
5,8	11,210
5,9	11,505
6,0	12,000
6,1	12,505
6,2	13,020
6,3	13,545
6,5	14,625
6,6	15,180
6,7	15,745
6,8	16,320
6,9	16,905
7,0	17,50
7,1	18,10
7,2	18,72
7,3	19,34
7,4	19,98
7,5	20,62
7,6	21,28
7,7	21,94
7,8	22,62
7,9	23,30

α_a	T
8,0	24,00
8,1	24,70
8,2	25,42
8,3	26,14
8,4	26,88
8,5	27,62
8,6	28,38
8,7	29,14
8,8	29,92
8,9	30,70
9,0	31,50
9,1	32,30
9,2	33,12
9,3	33,94
9,5	35,62
9,6	36,48
9,7	37,34
9,8	38,22
9,9	39,10
1,0	40,00
10,1	40,90
10,2	41,82
10,3	42,74
10,4	43,68
10,5	44,62
10,5	44,62
10,7	46,54
10.8	47,52
10,9	48,50

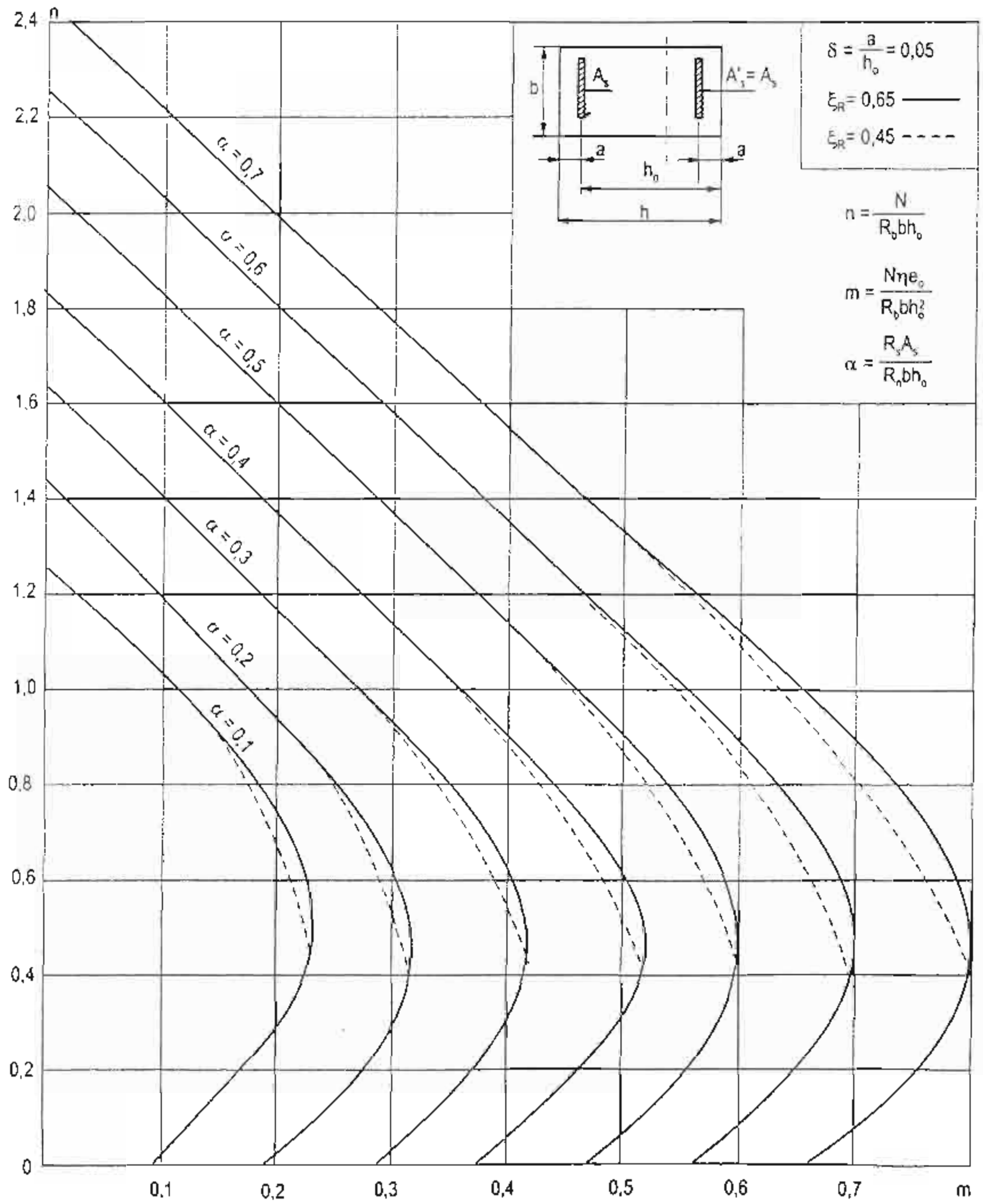
Phụ lục 7

BẢNG TRA DIỆN TÍCH VÀ TRỌNG LƯỢNG CỐT THÉP

φ ,mm	Diện tích tiết diện ngang, mm^2 - ứng với số thanh									Trọng lượng 1m (kG)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
6	28,3	57	85	113	142	170	198	226	255	0,222
8	50,3	100	151	201	251	302	352	402	453	0,395
10	78,5	157	236	314	392	471	550	628	707	0,617
12	113,1	226	339	452	565	679	792	905	1018	0,888
14	153,9	308	462	616	769	923	1077	1231	1385	1,208
16	201,1	402	603	804	1005	1206	1407	1608	1810	1,578
18	245,5	509	763	1018	1272	1527	1781	2036	2290	1,998
20	314,2	628	942	1256	1571	1885	2199	2514	2827	2,466
22	380,1	760	1140	1520	1900	2281	2661	3041	3421	2,984
25	490,9	982	11,73	1963	2454	2945	3436	3927	4418	3,853
28	615,8	1232	1847	2463	3079	3695	4310	4926	5542	4,834
30	707,0	1414	2120	2827	3534	4241	4948	5655	6362	5,549
32	804,2	1608	2412	3217	4021	4825	5630	6434	7238	6,313
36	1018	2036	3054	4072	5090	6108	7126	8144	9162	7,990
40	1256	2512	3768	5024	6280	7536	8792	10040	11300	9,870

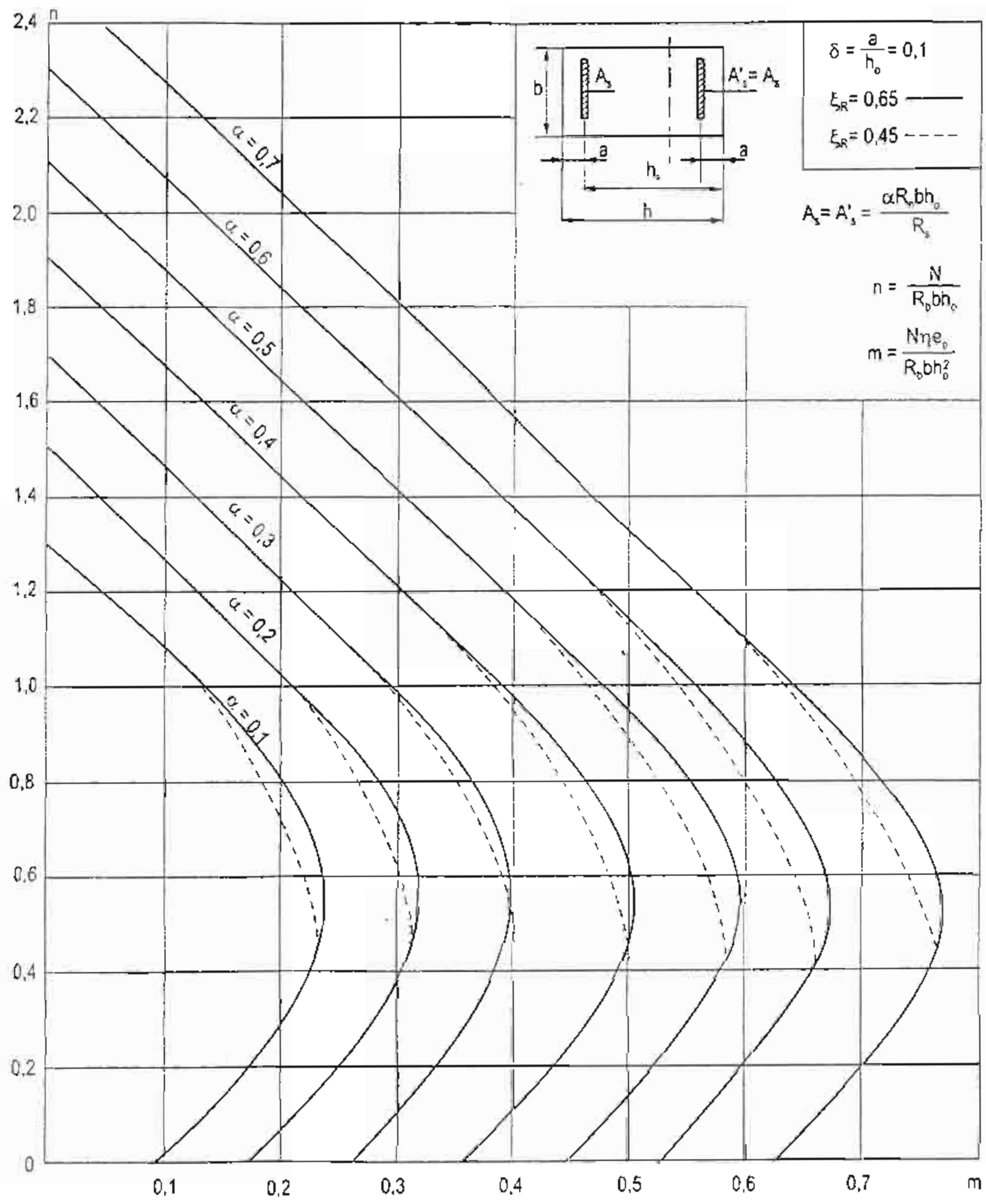
Phụ lục 8A

HỌ BIỂU ĐỒ TƯƠNG TÁC
TIẾT DIỆN CHỮ NHẬT, CỐT THÉP ĐỐI XỨNG, δ = 0,05.



Phụ lục 8B

HỌ BIỂU ĐỒ TƯƠNG TÁC
TIẾT DIỆN CHỮ NHẬT, CỐT THÉP ĐỐI XỨNG, δ = 0,1



Phụ lục 9

BIỂU ĐỒ TƯƠNG TÁC CỦA TIẾT DIỆN CHỮ NHẬT CÓ CỐT THÉP ĐẶT THEO CHU VI

Biểu đồ loại này phụ thuộc khá nhiều thông số. Trong phụ lục này chỉ giới thiệu một vài biểu đồ làm đại diện, chưa đủ mức phổ biến. Các cơ sở thiết kế có thể theo hướng dẫn sau đây để lập ra các họ biểu đồ phù hợp với thực tế thiết kế của cơ sở.

Lập biểu đồ của một tiết diện đã cho: theo thí dụ của mục 2.7.4.

Lập họ biểu đồ không thứ nguyên theo các bước sau (xem hình 2.18).

1. Dự kiến cách bố trí cốt thép, biết tổng số thanh, tính hệ số k_i của các lớp cốt thép: $k_i = \dfrac{A_i}{A_{st}} = \dfrac{C_i}{C_t}$. Trong đó C_t là tổng số thanh cốt thép, C_i là số thanh ở lớp thứ i - các thanh có cùng đường kính ϕ. Có $A_{st} = C_t\phi$... Chọn tỉ số cốt thép μ_s ($\mu_s = 0{,}005 \div 0{,}06$). Theo kí hiệu: $\mu_s = \dfrac{A_{st}}{bh}$.

2. Chọn cường độ tính toán của bê tông R_b và của cốt thép R_s. Tính $\rho_s = \dfrac{R_s}{R_b}$

3. Chọn tỉ số $\delta = \dfrac{a}{h}$ (thông thường δ - $0{,}05 \div 0{,}12$).

4. Tính khoảng cách giữa các lớp cốt thép. Khi đặt n_o lớp cốt thép thì khoảng cách $s = \dfrac{h - 2a}{n_o - 1}$; $\alpha_o = \dfrac{s}{h} = \dfrac{1 - 2\sigma}{n_o - 1}$.

Tính h_{oi} của các lớp cốt thép; $h_{oi} = h - a - (i - 1)s$.

$$\gamma_i = \frac{h_{oi}}{h} = 1 - \sigma - (i - 1)\alpha_o$$

5. Tính khoảng cách từ trục tiết diện đến trọng tâm các lớp cốt thép y_i:

$$y_i = h_{oi} - 0{,}5h\ ;\ \beta_i = \frac{y_i}{h} = \gamma_i - 0{,}5$$

6. Tính ω theo chỉ dẫn ở phụ lục 4: $\omega = \alpha - 0{,}008\ R_b$. Với bê tông nặng thông thường $\alpha = 0{,}85$. Giá trị R_b theo đơn vị MPa.

7. Lập chương trình hoặc các bảng tính toán bằng cách cho giá trị ξ thay đổi từ 0,1 đến 1. Theo định nghĩa $\xi = \frac{x}{h}$.

Tính các giá trị ρ_i ứng với ξ và cốt thép A_i:

$$\rho_i = \frac{\sigma_i}{R_b} = \frac{\sigma_{sc.u}}{R_b\left(1 - \frac{\omega}{1,1}\right)}\left(\frac{\omega}{\xi} - 1\right)$$

Giá trị $\sigma_{sc,u}$ lấy theo mục 2.7.2. hoặc theo phụ lục 4:

Thông thường lấy $\sigma_{sc,u}$ = 400 MPa.

$$\xi_i = \frac{x}{h_{oi}} = \frac{\xi}{\gamma_i}$$

$$\rho_i = \frac{\sigma_{sc,u}}{R_b\left(1 - \frac{\omega}{1,1}\right)}\left(\frac{\omega\gamma_i}{\xi} - 1\right)$$

Điều kiện là: $-\rho_s \le \rho_i \le \rho_s$ với $\rho_s = \frac{R_s}{R_b}$

Nếu tính được $\rho_i > \rho_s$ thì lấy $\rho_i = \rho_s$

$\rho_i < -\rho_s$ thì lấy $\rho_i = -\rho_s$.

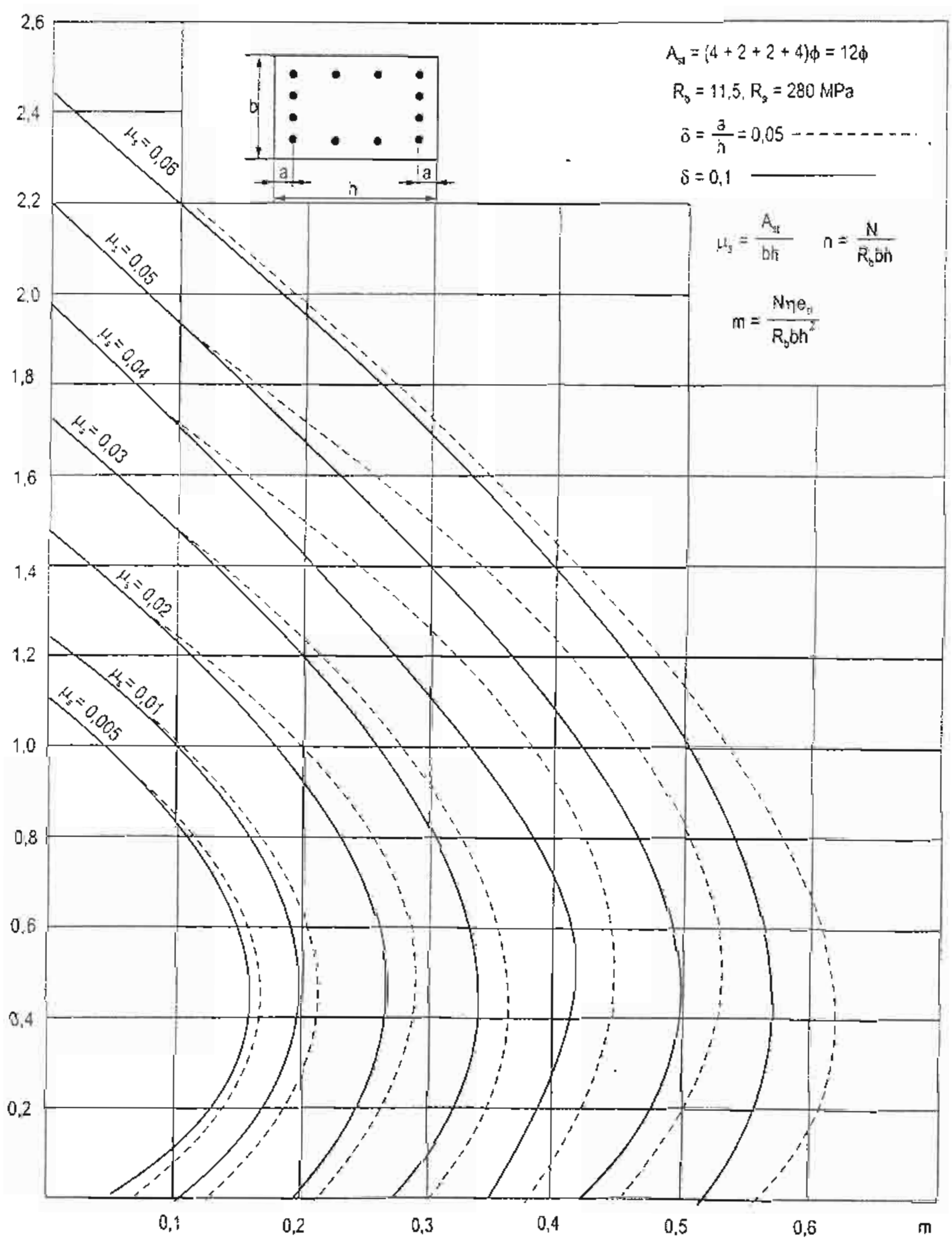
Ứng với mỗi giá trị ξ tính được một cặp n và m (xem công thức (2.57), (2.58).

$$n = \xi - \mu_s \sum k_i \rho_i$$
$$m = 0,5\xi(1 - \xi) + \mu_s \sum k_i \rho_i \beta_i$$

8. Cho μ_s thay đổi sẽ có được một họ biểu đồ.

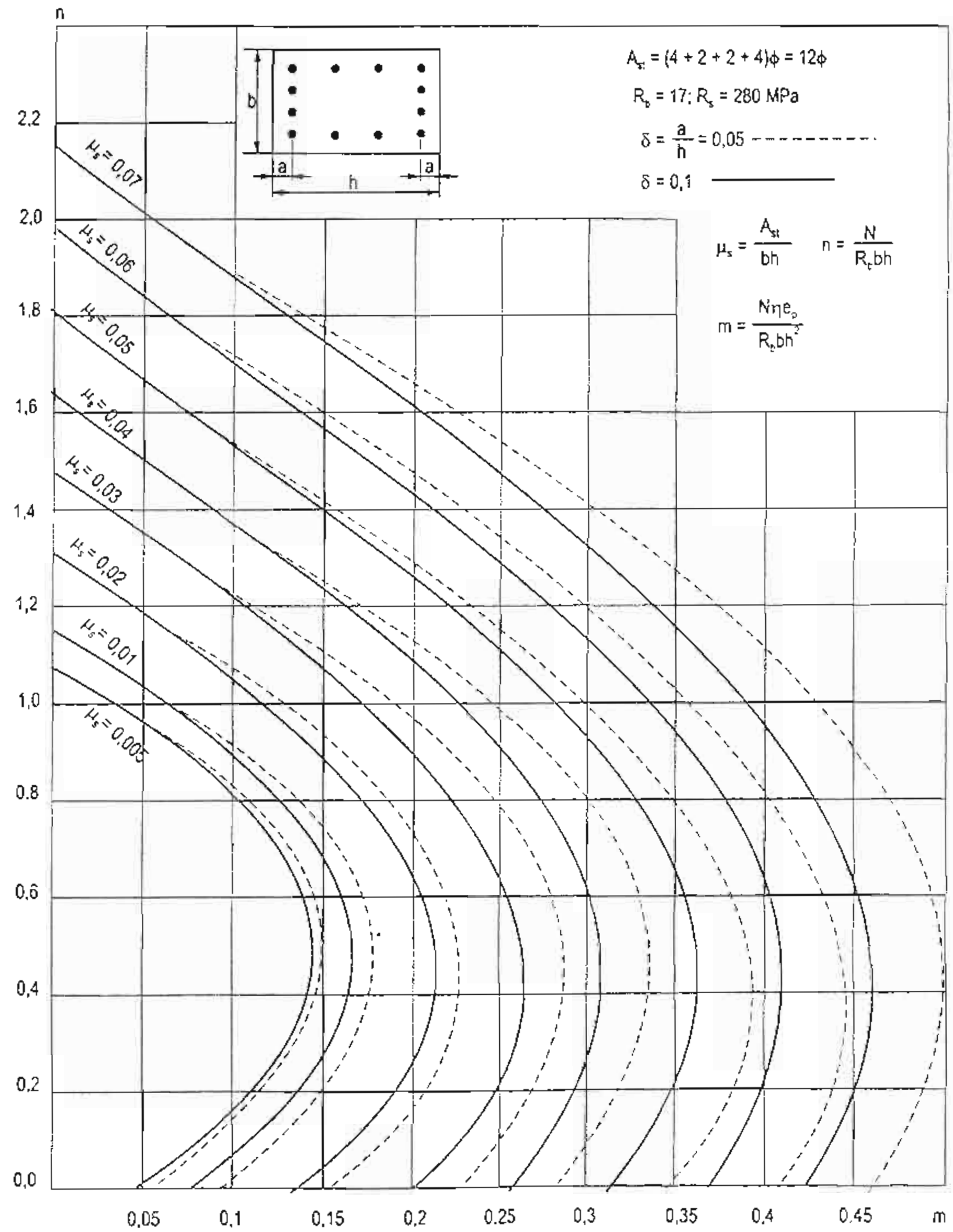
Phụ lục 9A

BIỂU ĐỒ TƯƠNG TÁC TIẾT DIỆN CHỮ NHẬT CỐT THÉP ĐẶT THEO CHU VI (12ϕ) VỚI $R_b = 11,5$; $R_s = 280$ MPa



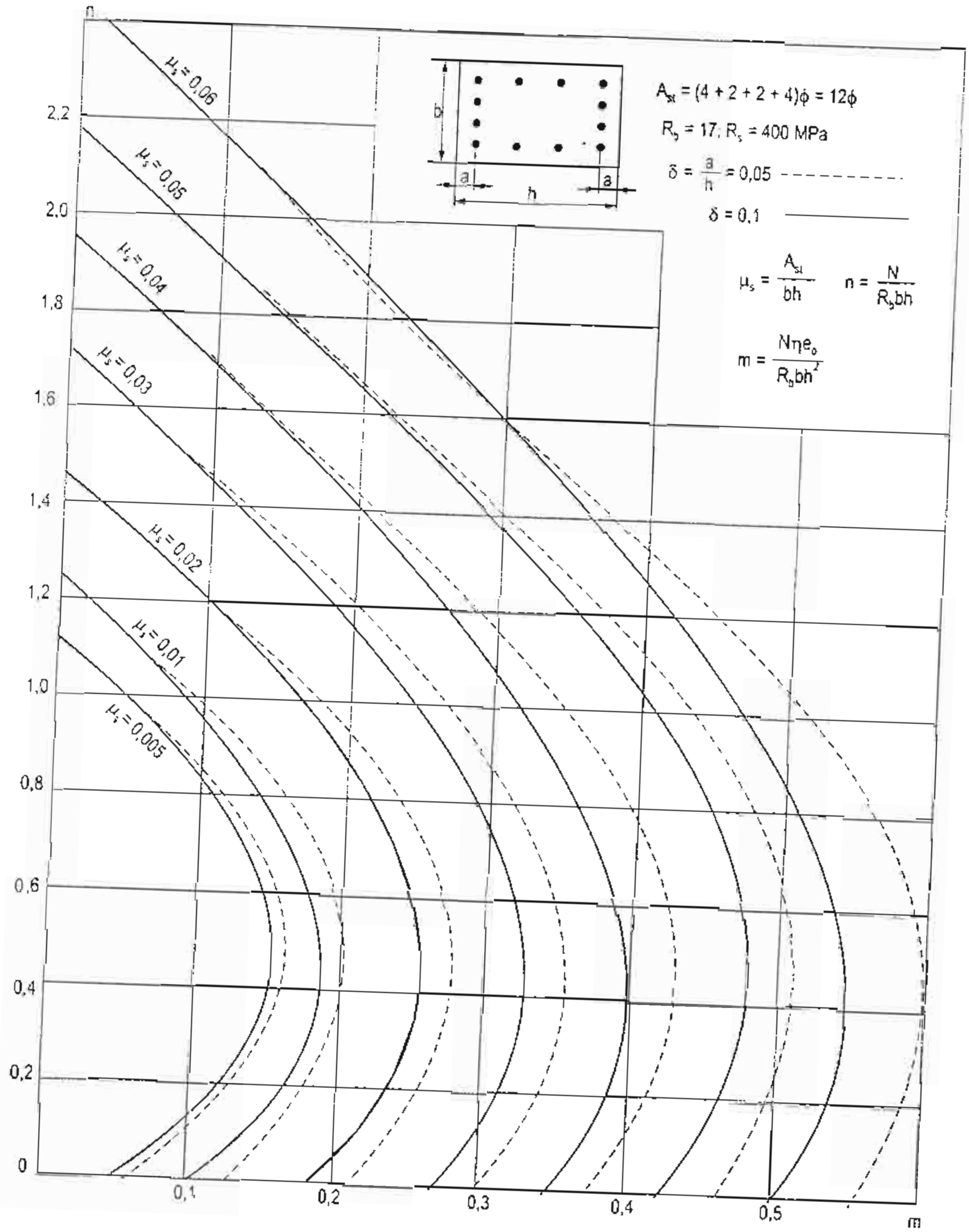
Phụ lục 9B

BIỂU ĐỒ TƯƠNG TÁC TIẾT DIỆN CHỮ NHẬT CỐT THÉP ĐẶT THEO CHU VI (12ϕ) VỚI $R_b = 17$; $R_s = 280$ MPa



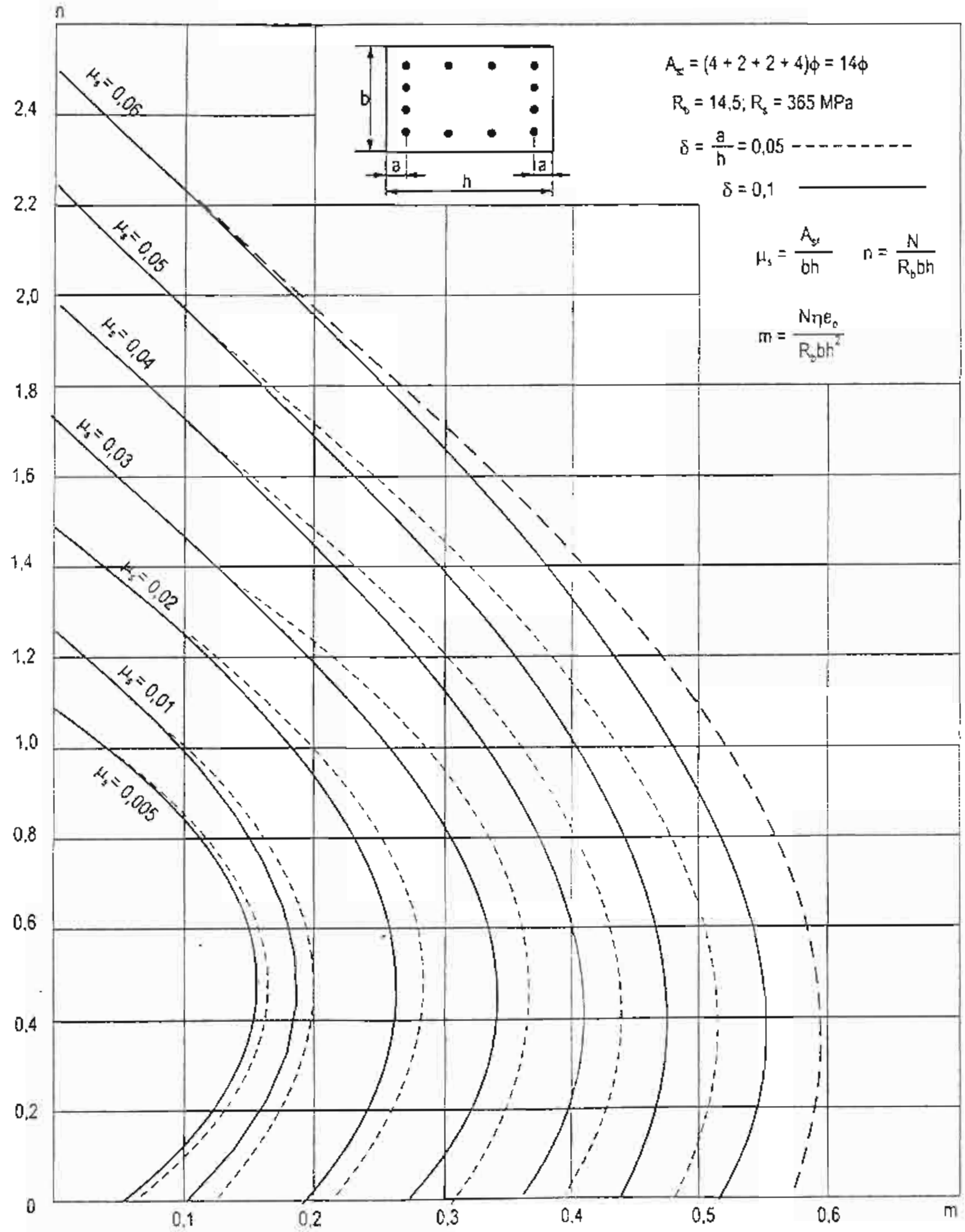
Phụ lục 9C

BIỂU ĐỒ TƯƠNG TÁC TIẾT DIỆN CHỮ NHẬT CỐT THÉP ĐẶT THEO CHU VI (12ϕ) VỚI R_b = 17; R_s = 400 MPa



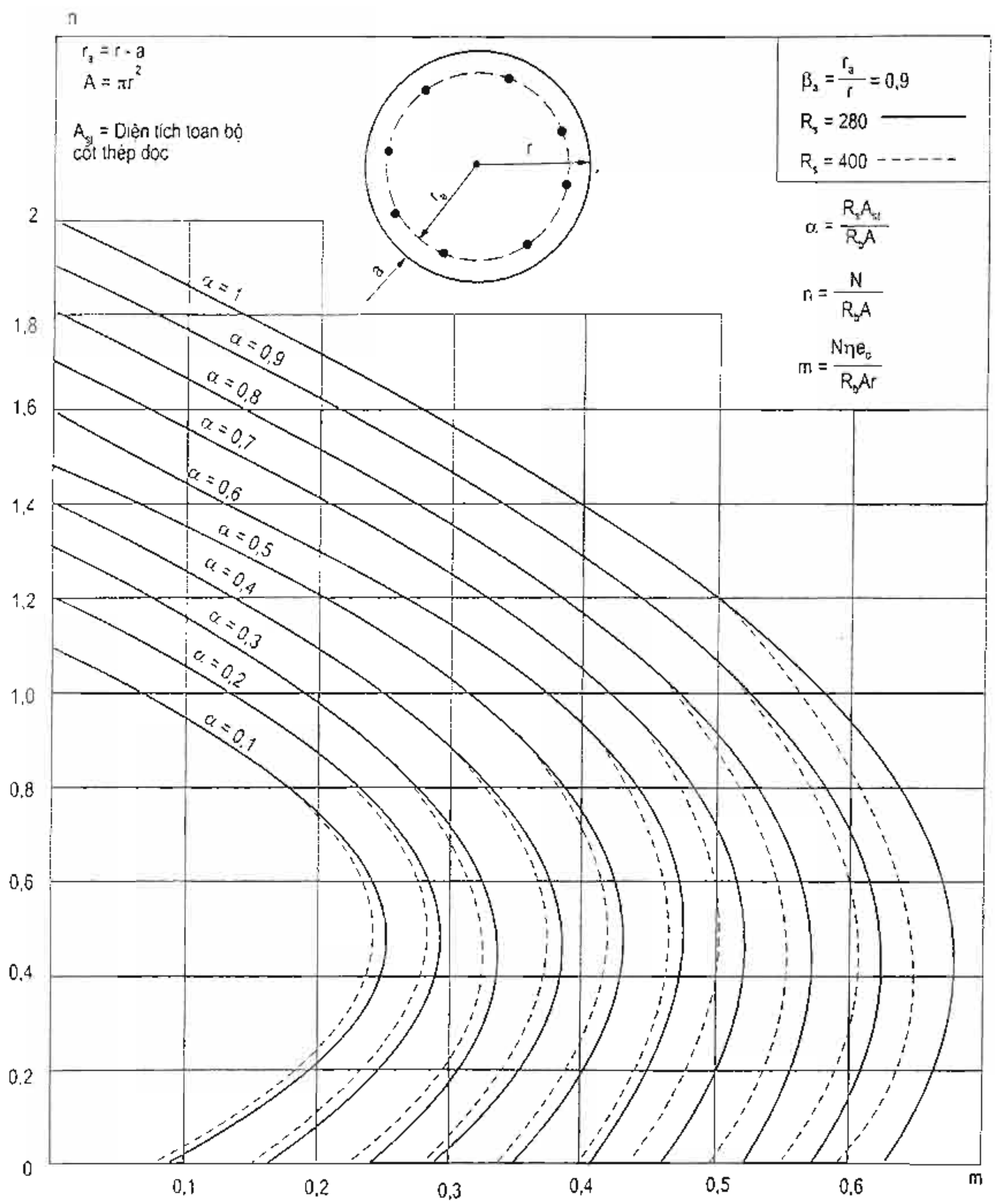
Phụ lục 9D

BIỂU ĐỒ TƯƠNG TÁC TIẾT DIỆN CHỮ NHẬT CỐT THÉP ĐẶT THEO CHU VI (14ϕ) VỚI R_b = 14,5; R_s = 365 MPa



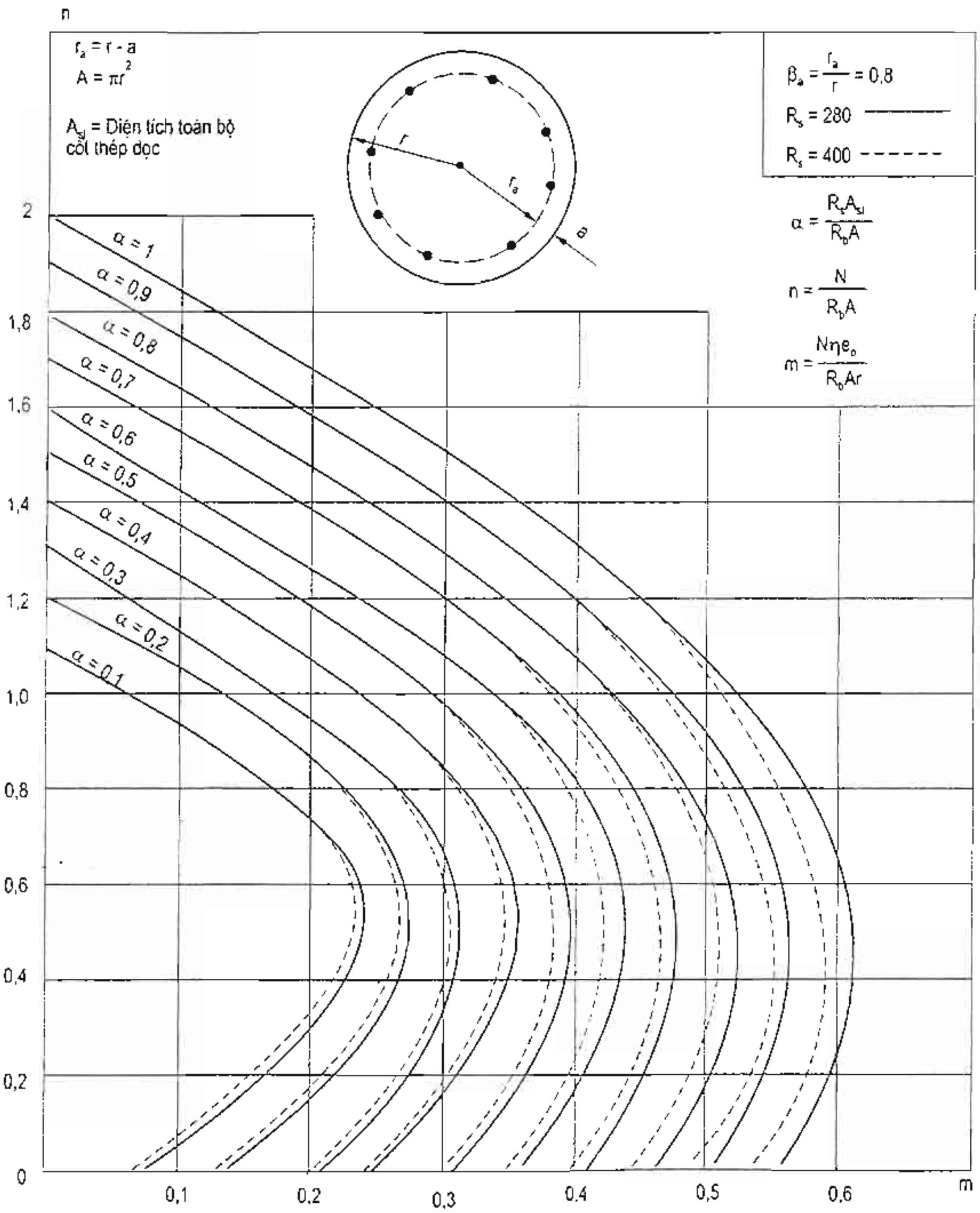
Phụ lục 10A

BIỂU ĐỒ TƯƠNG TÁC TIẾT DIỆN TRÒN VỚI $\beta_a = 0,9$



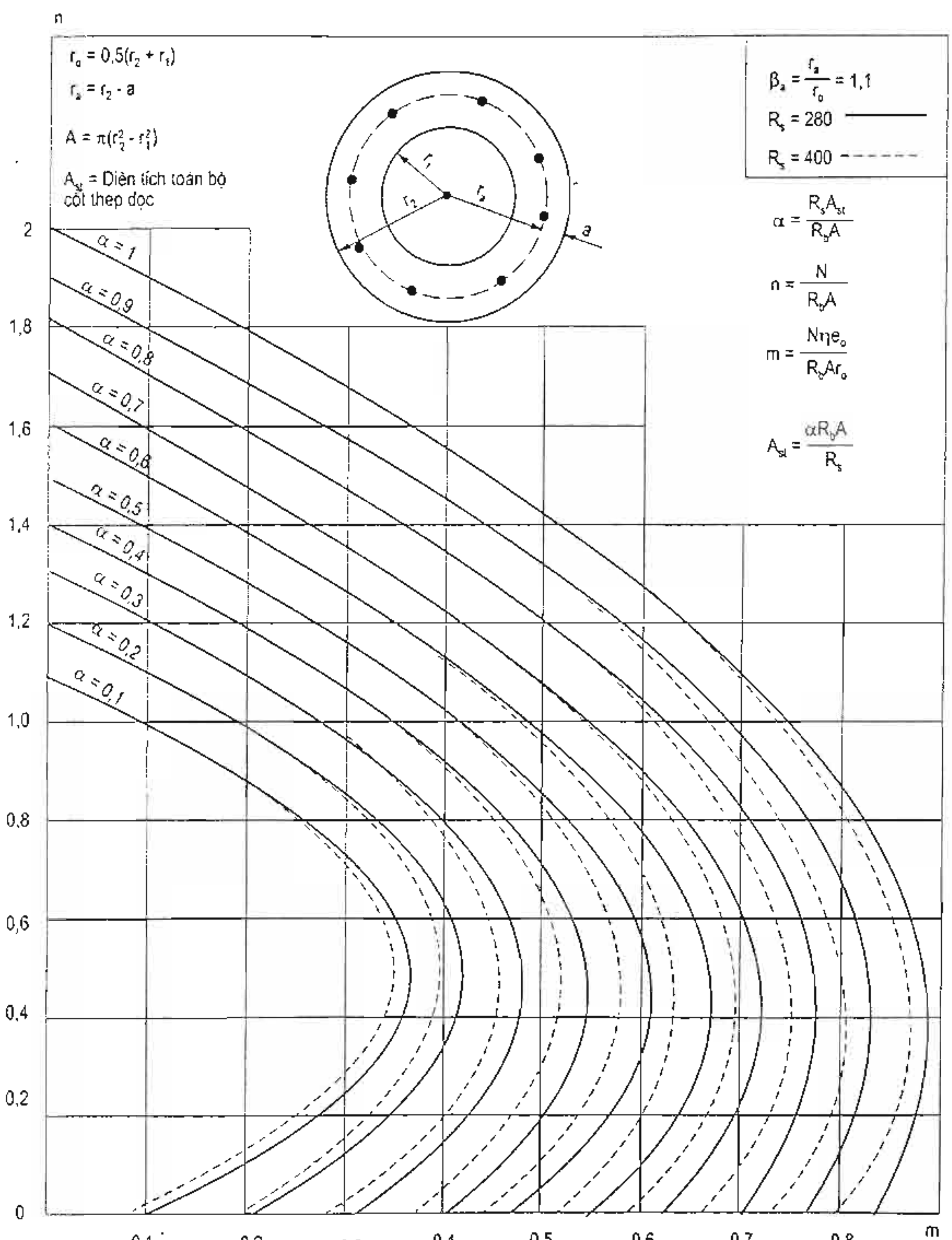
Phụ lục 10B

BIỂU ĐỒ TƯƠNG TÁC TIẾT DIỆN TRÒN VỚI $\beta_a = 0{,}8$



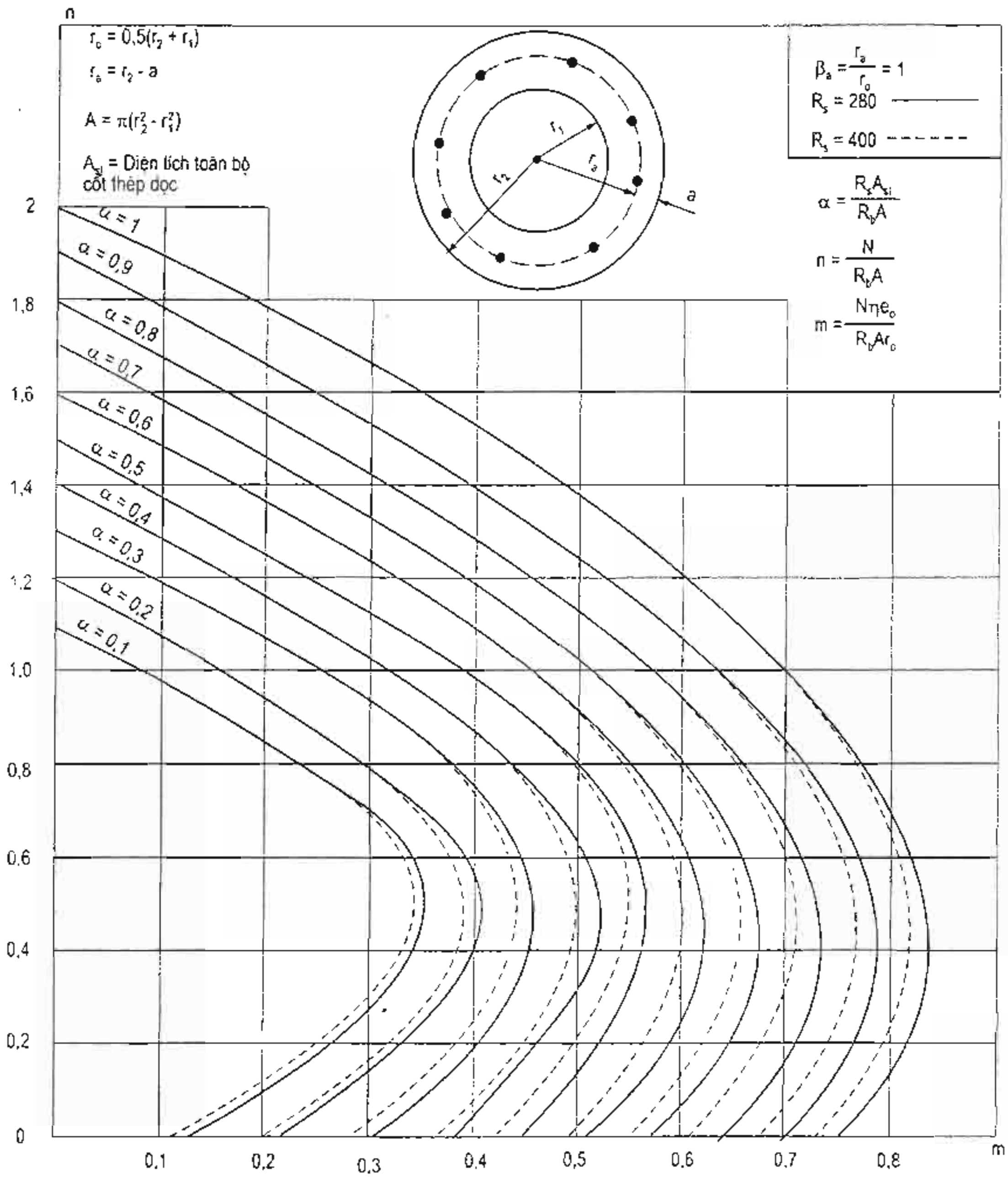
Phụ lục 11A

BIỂU ĐỒ TƯƠNG TÁC TIẾT DIỆN VÒNG KHUYÊN VỚI $\beta_a = 1,1$



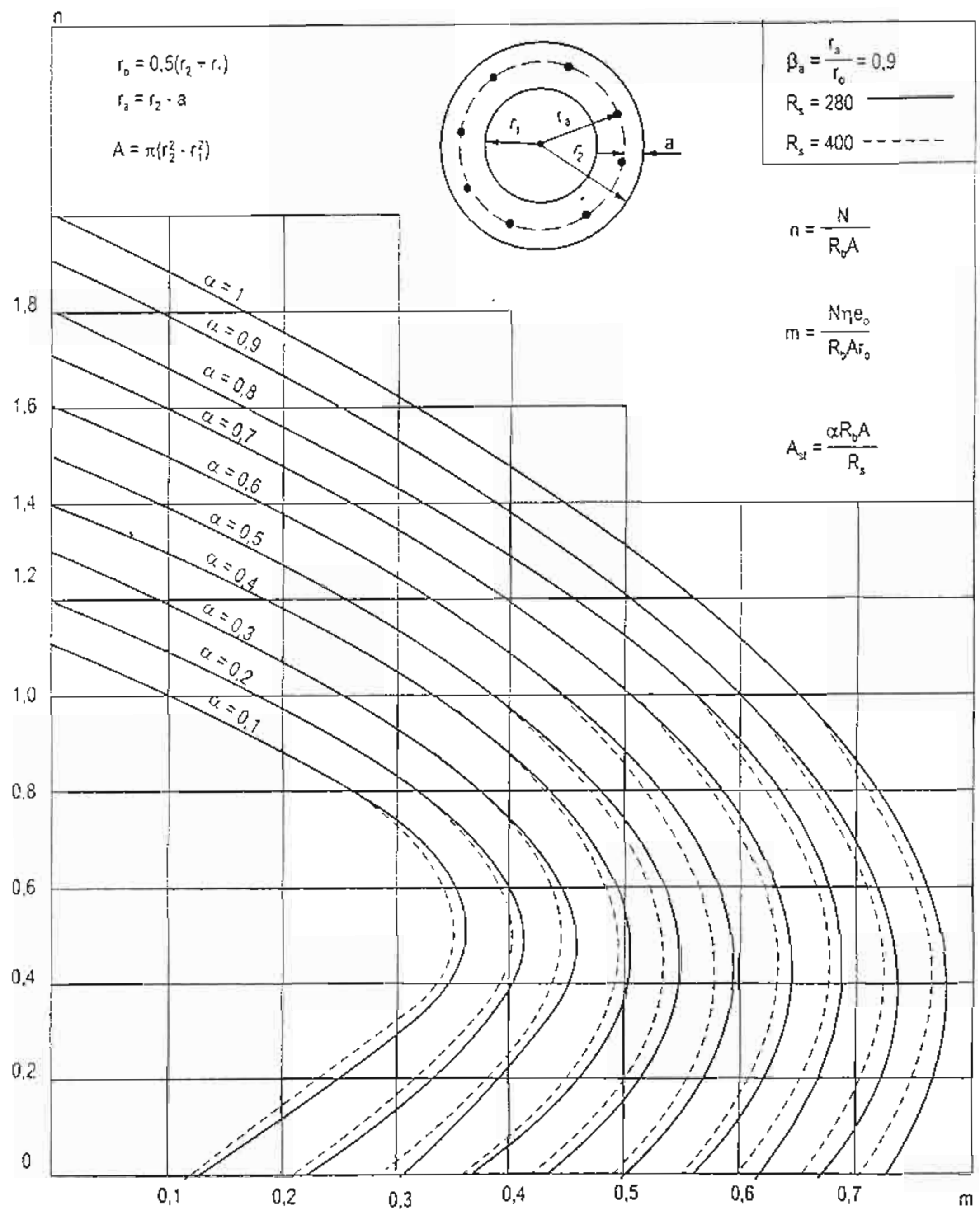
Phụ lục 11B

BIỂU ĐỒ TƯƠNG TÁC TIẾT DIỆN VÒNG KHUYÊN VỚI $\beta_a = 1$



Phụ lục 11C

BIỂU ĐỒ TƯƠNG TÁC TIẾT DIỆN VÒNG KHUYÊN VỚI $\beta_a = 0,9$



MỤC LỤC

TÍNH TOÁN TIẾT DIỆN CỘT BÊTÔNG CỐT THÉP

Chịu trách nhiệm xuất bản :

BÙI HỮU HẠNH

Biên tập :	ĐINH BẢO HẠNH
Chế bản :	LÊ THỊ HƯƠNG
Sửa bản in :	ĐINH BẢO HẠNH
Bìa :	VŨ BÌNH MINH

In 1000 cuốn khổ 19×27cm, tại Xưởng in Nhà xuất bản Xây dựng. Giấy chấp nhận đăng ký kế hoạch xuất bản số 1433/XB-QLXB-02, ngày 26/8/2005. In xong nộp lưu chiểu tháng 5-2006.